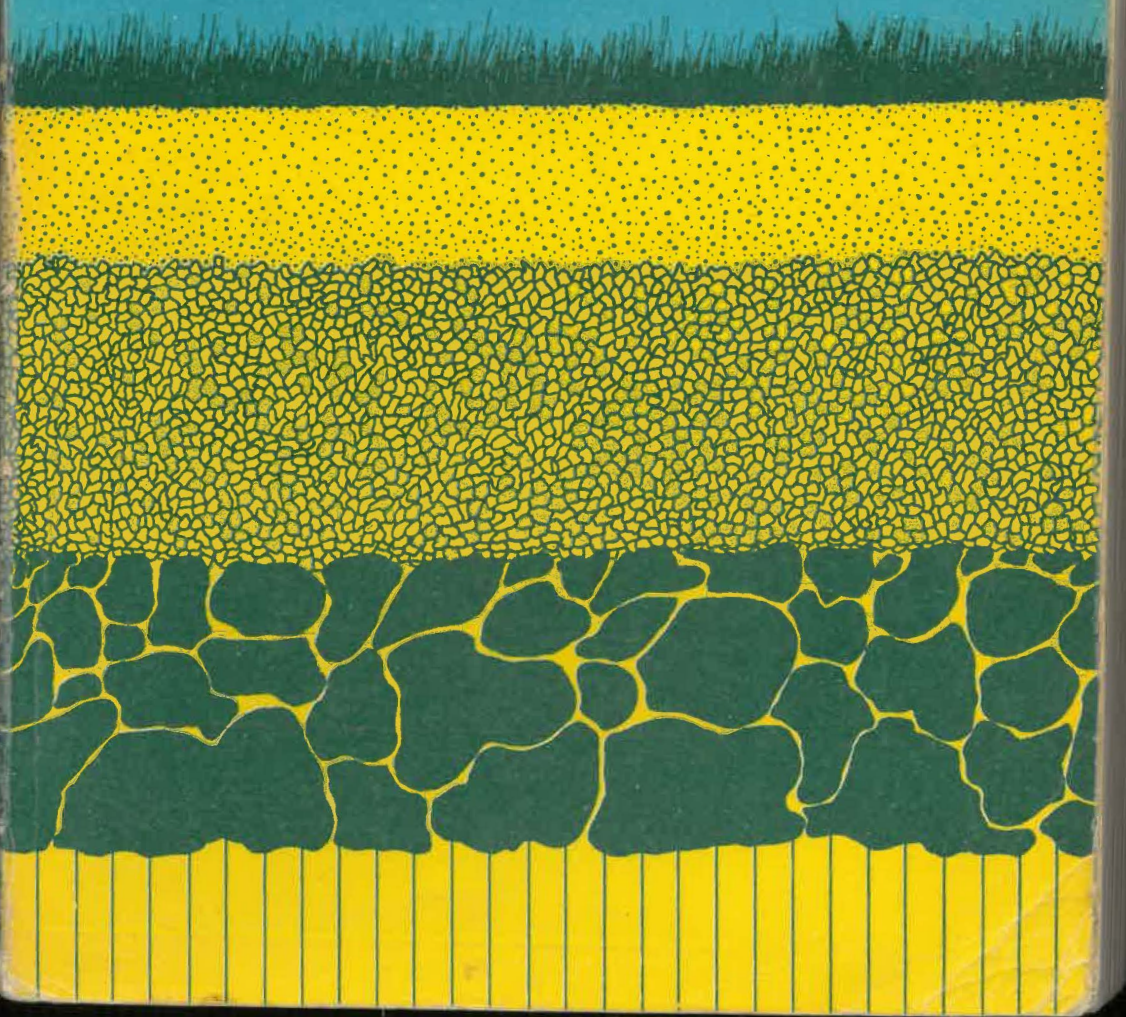
MANEJO ECOLOGICO DEL SUELO

ANA PRIMAVESI



ANA PRIMAVESI
Fazenda Ecológica
Caixa Postal 36
18730 - Itai - São Paulo
Brasil

Rue Feuillaux

MANEJO ECOLOGICO DEL SUELO

Ana Primavesi

Ingeniera agrónoma.
Fundadora y directora del Laboratorio
de Química del Suelo (Universidad Federal
de Santa Maria, Rio Grande do Sul)

MANEJO ECOLOGICO DEL SUELO

La agricultura en regiones tropicales

QUINTA EDICION

AL CUIDADO DEL ING. AGRON. JORGE S. MOLINA

LIBRERIA "EL ATENEO" EDITORIAL
BUENOS AIRES - LIMA - RIO DE JANEIRO - CARACAS
MEXICO - BARCELONA - MADRID - BOGOTA

Título de la obra original:
"O MANEJO ECOLOGICO DO SOLO"
© 1980 by Livraria Nobel S.A., São Paulo, Brasil
Traducción de Silvia Lerendegui
(de la 5ª edición de la obra, 1982)

Todos los derechos reservados.
Este libro no puede reproducirse, total o parcialmente,
por ningún método gráfico, electrónico o mecánico,
incluyendo los sistemas de fotocopia, registro
magnetofónico o de alimentación de datos,
sin expreso consentimiento del editor.

Queda hecho el depósito que establece la ley Nº 11.723.
© 1984 "EL ATENEO" Pedro García S.A.
Librería, Editorial e Inmobiliaria, Florida 340, Buenos Aires.
Fundada en 1912 por don Pedro García.

I.S.B.N. 950-02-3035-6
I.S.B.N. 85-213-0004-2 Livraria Nobel S.A.,
São Paulo, edición original

IMPRESO EN LA ARGENTINA

IN MEMORIAM
de Artur Primavesi y de su obra pionera
en el manejo del suelo en las regiones tropicales

INDICE

PALABRAS PRELIMINARES IX
PROLOGO XI
INTRODUCCION XIII

Distribución de las áreas agrícolas y pastoriles en Brasil, XIV. Situación de la agricultura en las zonas tropicales, XV.

I. ELEMENTOS DE MANEJO

Capítulo 1. LA FISIOLOGIA DE LA PLANTA EN LOS TROPICOS 3

Cómo la planta forma las sustancias orgánicas, 3. Cómo se obtiene la energía, 3. El agua en la planta, 5. Termostatos naturales: las florestas o selvas, 6. La absorción del agua por la planta, 6. La germinación y la calidad de la semilla, 9. La temperatura y la producción vegetal, 12. El abastecimiento de la planta con el agua, 15. Consumo de agua por las plantas, 18. Disminución de la respiración de las plantas, 22. El oxígeno del suelo, 27. Factores que contribuyen a la metabolización rápida en la planta, 29. Referencias bibliográficas, 31.

Capítulo 2. LA RAIZ 34

La forma de la raíz, 36. Factores de los cuales depende el enraizamiento de un suelo, 37. La absorción de nutrientes y su efecto sobre la raíz, 57. Efecto del espaciamiento sobre el tamaño de la raíz, 62. El potencial de la raíz, 63. Aluminio tóxico en la rizosfera, 64. Referencias bibliográficas, 66.

Capítulo 3. EL SUELO 73

La parte mineral, 73. El suelo de clima tropical y su formación, 75. El agua en la formación del suelo, 81. Interrelación clima-suelo, 83. El aluminio en el suelo "tropical", 86. La riqueza mineral del suelo "tropical", 88. El silicio en el suelo tropical, 89. Referencias bibliográficas, 90.

Capítulo 4. LA MATERIA ORGANICA 94

Condiciones bajo las que se forma el humus, 95. Formas y valor del humus, 97. Calcio y humus, 103. Acidos poliurónicos y los restos orgánicos de la cosecha, 106. Beneficios de la materia orgánica en descomposición y del humus, 109. Sanidad vegetal y materia orgánica, 111. Cantidad de ácido húmico que beneficia a la planta, 113. Materia orgánica sin descomponer, humus y cultivo, 113. Abono verde y abono de corral, 115. Referencias bibliográficas, 118.

Capítulo 5. LA BIOLOGIA DEL SUELO 123

Meso y macrofauna. Su manejo, 123. El suelo y su vida, 129. Efecto de la meso y macrofauna sobre la estructura y fertilidad del suelo, 131. El factor alimento como regulador de la población del suelo, 133. Los factores del medio ambiente y su acción selectiva sobre la fauna, 135. Relación entre los animales, 138. Animales que predominan en suelos "tropicales", 139. Control y manejo de la fauna del suelo, 139. La materia orgánica en el control de los animales del suelo, 141. Referencias bibliográficas, 143.

Capítulo 6. LA MICROBIOLOGIA DEL SUELO 146

Cómo se alimentan los microorganismos, 146. Influencia del suelo sobre la actividad microorgánica, 151. Microorganismos del suelo tropical, 152. Relación planta-

microorganismos, 154. Micorrizas y su manejo, 155. La rizosfera y su efecto, 157. Las bacterias noduladoras y su manejo, 159. Fijadores de nitrógeno en el filoplano (hojas), 160. Fijación del nitrógeno por algas, 164. Cómo se crean las condiciones para la fijación de nitrógeno, 166. Microorganismos que movilizan fósforo en el suelo, 167. Microorganismos que contribuyen a la agregación del suelo, 168. Medios de influenciar a los microorganismos del suelo, 172. Referencias bibliográficas, 176.

Capítulo 7. LA BIOESTRUCTURA DEL SUELO 183

¿Qué es bioestructura?, 183. Porosidad del suelo, 185. La resistencia de los agregados y el efecto de la estructura grumosa, 188. Estabilización y protección de los grumos o agregados, 195. Efecto del cultivo sobre la bioestructura, 199. Cómo ocurre la destrucción de los grumos del suelo, 201. Análisis de la bioestructura, 204. Efecto de las máquinas agrícolas sobre la estructura activa del suelo, 206. La bioestructura y su relación con el clima y la erosión, 212. La erosión, 216. La protección de la bioestructura, 221. Medidas de conservación de la permeabilidad en pasturas, 225. Referencias bibliográficas, 227.

Capítulo 8. FERTILIZACION Y NUTRICION VEGETAL 231

La productividad del suelo, 232. El suelo como sistema dinámico, 234. El pH del suelo, 234. El calcio y el encalado, 242. La acidificación del suelo debido a la fertilización, 248. La absorción de los nutrientes, 250. Proporciones entre los nutrientes en la planta, 252. La edad fisiológica de la planta y su efecto sobre la absorción, 257. Influencia de la sombra y de la insolación directa sobre la absorción, 259. La riqueza mineral de la semilla y la absorción de nutrientes, 262. La fertilización, 266. El clima y la absorción de nutrientes, 274. Edificación de una mayor productividad del suelo, 276. Los elementos nutritivos principales y sus interrelaciones, 278. El fósforo, 284. El potasio, 288. El azufre en el suelo y su manejo, 294. Micronutrientes, 296. Calidad de los productos vegetales como consecuencia de su nutrición, 303. Fertilización foliar, 304. Referencias bibliográficas, 307.

II. MANEJO ECOLOGICO DEL SUELO TROPICAL

INTRODUCCION 321

Capítulo 9. MANEJO DEL SUELO 323

Manejo de los suelos en zonas tropicales y subtropicales, 323. Cómo manejar el suelo tropical: suelo agrícola común para cultivo de secano, 326. La arada: cuándo y cómo se usa, 327. La plantación directa, 335. Modos de desmontar y su efecto sobre el suelo, 344. El problema de las hierbas invasoras y su eliminación, 350. Protección de la superficie del suelo contra el impacto de la lluvia, 351. Cobertura plástica, 358. El sombreamiento del cultivo, 370. El mantenimiento de la vida diversificada del suelo y la salud vegetal, 373. Rotación de cultivos, 376. La erosión, 386. El encalado y la fertilización racional influyen en la calidad del producto, 390. La fertilización y el valor biológico, 394. Problemas de mecanización, 396. La fertilización de los suelos sumergidos. Suelos de arroz irrigado, 398. Manejo de suelos irrigados por inundación (arroz), 399. Manejo de suelos irrigados en regiones áridas, 405. La desalinización de suelos alcalinos y salinos, 418. Resumen general sobre el manejo de los suelos tropicales, 421. Referencias bibliográficas, 421.

Capítulo 10. SUELOS ESPECIALES 428

Manejo del suelo pastoril, 428. Pastura artificial, 433. Implantación de forrajeras, 434. La limpieza de la pastura, 438. El manejo pastoril, 444. La fertilización pastoril, 447. Referencias bibliográficas, 451. Manejo de los suelos de "cerrado", 453. Las tres constantes del "cerrado", 458. Recuperación de los "cerrados", 463. Pasturas en el "cerrado", 467. Referencias bibliográficas, 469. Manejo de los suelos de la Mata o selva amazónica, 470. La producción en la Amazonia legal, 481. Preparación del suelo de la zona ecuatorial, 484. Formación de pasturas en Amazonia, 485. Referencias bibliográficas, 487. Palabras finales, 487.

GLOSARIO 489

INDICE TEMATICO 495

PALABRAS PRELIMINARES

Nuestro contacto con este libro, extraordinario por muchos conceptos, fue puramente casual.

Invitados a concurrir al otorgamiento del "Rolex Award for the Spirit of Enterprise" (1981), otorgado por primera vez a un brasileño, el ingeniero Fernando Lee, por una firma suiza de renombre mundial, tuvimos ocasión de observar en una vidriera de la ciudad de São Paulo este libro, que nos trajo un sinfín de recuerdos.

Habíamos tomado contacto hace muchos años con el matrimonio de científicos integrado por la doctora Ana Primavesi y el doctor Artur Primavesi en la Universidad Federal de Santa María —Rio Grande Do Sul— Brasil.

El doctor Primavesi era el director de un curso de posgrado sobre "Biología y manejo de suelos" y nos había invitado a participar como profesores del mismo en el tema de "Conservación y manejo de suelos".

Durante seis meses compartimos con ellos y un grupo de profesores americanos y europeos lo que constituyó posiblemente el primer curso universitario latinoamericano de posgrado de "Biodinámica de suelos" y tuvimos ocasión de conocer en profundidad el pensamiento científico del matrimonio Primavesi, que lo había colocado entre los pocos invitados especiales del papa Pablo VI para integrar una reunión de la Universidad Pontificia sobre "Materia orgánica del suelo", distinción que compartió con los más destacados científicos a nivel mundial.

El presente libro, fruto de esta labor en común, es en nuestra opinión una de las mejores herramientas para lograr el desarrollo sostenido de los suelos tropicales, a nivel no sólo latinoamericano, sino también mundial. Trescientos o cuatrocientos millones de hombres en todos los trópicos viven pura y simplemente de la destrucción acelerada de los suelos de esas regiones.

El suelo agrícola sólo dura como promedio tres años en producción, e incluso en el peor caso que hemos podido estudiar en los Altos llanos de la cuenca del Orinoco, en sólo un año y medio deja de producir. Una de las mayores reservas forestales de esa área, con una superficie de alrededor de 400.000 ha, en 10 años fue reducida a solo 100.000 ha. Una destrucción de esa magnitud representa una amenaza tremenda para la subsistencia misma del hombre en esas regiones.

Inclusive el caos en que se debate América Central fue anticipado hace más de 40 años en un libro profético, Road to survival *de W. Vogt. El libro que ahora nos ocupa, el de la doctora Primavesi, constituye un esfuerzo serio y concreto para poner fin a la situación verdaderamente dramática de una población que destruye las mismas bases de sustentación de su descendencia.*

Las alternativas no son muchas. Si el hombre destruye su suelo productivo, la consecuencia final es una sola, primero el asesinato de la tierra, luego el asesinato de los hombres y finalmente el asesinato de las naciones o sea la guerra. Estas conclusiones de Justus von Liebig, expresadas en 1840 para Europa, tienen una realidad trágica en América en estos momentos.

Desde los satélites que fotografían la Tierra las noches sin luna se observan dos tipos principales de focos de luz en nuestro planeta. El norte, brillantemente iluminado por los

centros de población altamente civilizados y el sur, iluminado en la misma forma, pero por el resplandor de los incendios forestales y de los pastizales en toda la franja tropical y subtropical.

Mientras subsisten estas "luces del subdesarrollo" será muy difícil, por no decir imposible, transformar la "agricultura sobre las cenizas" o " agricultura itinerante", en una agricultura digna de este nombre.

La "agricultura minera" es precisamente el opuesto de la imagen agrícola tradicional de las regiones templadas, donde el hombre ya ha encontrado un nuevo equilibrio ecológico con su medio ambiente. En las regiones tropicales aún no se ha logrado, y este libro es la más seria contribución para obtenerlo que hemos podido encontrar hasta el presente.

El interés de la Editorial "El Ateneo", en integrar una colección de libros dedicados a esta tarea de ilustración verdaderamente trascendente, nos indujo a proponerle la traducción del presente libro, por considerarlo de suma importancia para las regiones tropicales de la Argentina y de toda América. Afortunadamente esta tarea ha sido cumplida, y junto con otras publicaciones de la misma índole, integra una colección cuyo valor para el futuro de la Argentina y de América latina es difícil sobrestimar.

Ingeniero Agrónomo Jorge S. Molina
Profesor Universitario
PREMIOS ROLEX AL ESPIRITU DE INICIATIVA
1977 y 1981

PROLOGO

A finales de agosto de 1975, en mi lucha en la Cámara Federal por la creación de una "Comisión Permanente de Ecología", al mismo tiempo que defendía ardorosamente un "Proyecto" que encaraba una amplia reformulación de la política y administración forestal en Sâo Paulo, todavía absolutamente carente a semejanza de todo el país, me valía con frecuencia de citas y conceptos de mi ilustre y entrañable amigo Artur Primavesi, edafologista y profesor de la Universidad Federal de Santa María en Rio Grande do Sul, especialista de renombre internacional.

En una de mis declaraciones de entonces, recurrí a palabras que mi amigo había expresado en una charla en la Escuela Superior de Guerra. Revelan mejor que todo lo que de él se pueda decir, el trazo que marca la creencia y la esperanza en los hombres y en la patria, genuina característica de la verdadera expresión de su figura humana:

> *"... existe una única potencia en el mundo que todavía sería capaz de desmitificar la tecnología, porque es tan grande que se puede hacer oír. Todavía no está corrompida por el dinero, está avanzando con paso seguro, todavía no está intoxicada por los alimentos, no perdió su razonamiento normal, no está dopada por el aire contaminado y todavía no perdió su responsabilidad social, siendo, por todo esto, todavía capaz de reaccionar y de imponerse. Es el Brasil."*

Ahora es este auténtico "Tratado" sobre la ecología en el manejo agro-silvo-pastoril de las regiones tropicales, que viene a perpetuar el recuerdo y las enseñanzas de este incansable y obstinado "científico agrícola", sirviendo de ejemplo a la nueva generación de técnicos y continuadores de las espinosas tramas de la ciencia, a veces dirigidos o inducidos por tecnologías erróneas o alienígenas, cuando no nocivas a los intereses nacionales, a veces desesperanzados por el deterioro ambiental y por el creciente agotamiento de nuestras riquezas naturales, especialmente del suelo y de la vegetación.

Es en esta obra que Primavesi nos lega su mensaje post mortem, sobre dos crecientes, actualísimos y preocupantes temas de la problemática que está siendo vivida por la nación [Brasil], y que son: el empleo de los agrotóxicos y el fantasma de la devastación forestal en Amazonas, al disertar sobre ésta con la hipótesis de una explotación desordenada, en estos términos:

> *"... el clima de la región amazónica ecuatorial húmeda parece extremadamente favorable a la producción vegetal. Como ejemplo está la hileia. Pero se olvida que el clima existe gracias a la vegetación que, como un inmenso termostato, está evitando los extremos de temperatura. Las pasturas no son termostatos y no se puede esperar que mantengan el clima amazónico, después de la modificación total del paisaje, habiendo cambiado la selva por pasturas.*

"No hay duda de que el área amazónica puede ser transformada en una zona de cultivos. ¡Pero con la conservación de los principios ecológicos existentes! Cada modificación impensada significa un empeoramiento de las condiciones de un ecosistema extremadamente delicado, mucho más delicado que el de las pampas fértiles, del granero de la antigua Grecia y Roma, que hoy están transformadas en el desierto de Sahara."

Pero es en las palabras finales de ese trabajo, donde Primavesi expresa su sentencia, quizás una esperanza redentora:

"El futuro de Brasil está ligado a su tierra. El manejo adecuado de sus suelos es la llave mágica para la prosperidad y el bienestar general. La naturaleza, en sus caprichos y misterios, condensa en pequeñas cosas el poder de dirigir las grandes, en las sutiles, la potencia de dominar las más ordinarias, en las cosas simples, la capacidad de elegir las complejas. Así, la explosión de una cosa ínfima, como el átomo, llega a arrasar ciudades enormes y a esterilizar regiones enteras. Y un miligramo de hormona, en más o en menos, llega a modificar las funciones de todo el cuerpo, enfermando el organismo. Y la simple destrucción de los grumos de la superficie del suelo llega a destruir pueblos y países, trayendo el hambre, la miseria y la enfermedad y, como consecuencia, la esclavitud."

Y es justamente esa actualidad de los temas, esa profunda sutileza y sustancia de los pensamientos del autor, admito, que me impresiona y me sofoca, agiganta la responsabilidad y el peso de la misión para quien, ahora, con humildad y respeto, trata de realzar en pocas líneas, toda la grandeza de la visión del maestro.

Siento como si el espíritu del autor hubiese necesitado sobrevivir a su propio tiempo, pleno de luces de una sabiduría esotérica, preocupado por ayudar a esta patria y a su destino.

Que todos los bienintencionados lo lean y mediten.

Diputado Antonio Henrique Cunha Bueno
Secretario Extraordinario de Cultura
del Estado de São Paulo

INTRODUCCION

Este es un libro técnico destinado a los agrónomos de campo y a todos los que trabajan en temas agropecuarios y que intentan encontrar una respuesta a innumerables problemas que surgen diariamente, como: mal aprovechamiento de los fertilizantes, efecto cada vez más pronunciado de la sequía, deficiencias y enfermedades de difícil control en todas las especies, compactación y endurecimiento del suelo, formación de costras en la superficie del mismo luego de las lluvias, erosión cada vez más pronunciada, inundaciones, como también germinación muy deficiente de semillas, etc.

Está escrito en lenguaje simple, con ejemplos prácticos, evitando al máximo posible la terminología del especialista, sólo comprensible para otro especialista. Intenta describir los diversos factores del suelo dentro del contexto ecológico, procurando dar sus, a veces, complicadas interrelaciones con los demás factores para posibilitar su manejo. No analiza donde esto no es indispensable, no clasifica ni crea una sistemática o taxonomía, ya que son todas arbitrarias. Trata de presentar una visión de conjunto, y como ejemplo decimos: mientras que otros libros sobre el tema describen, clasifican y organizan los factores del suelo en la misma forma que la descripción y funcionamiento de las piezas de un automóvil, este libro construye, sintetiza, arma y habla del funcionamiento del conjunto de todas las piezas que componen el automóvil, posibilitando su uso y manejo.

La ciencia clásica da la impresión de considerar al suelo como un soporte inmutable y estático, lo que de hecho nunca fue ni lo será. En este libro se trata, por primera vez, de mostrar al suelo tal como es: un mecanismo complejo dinámico, prácticamente vivo, que se modifica constantemente, pero cuyo manejo no es tan difícil si se conocen sus principios básicos. Modificando un solo factor del complejo ecológico, el suelo, automáticamente se modifican los demás factores, constituyendo un nuevo equilibrio en el que está incluido el factor modificado. Cuando tomemos conocimiento de esto, podremos manejar todos los factores a voluntad. Si intervenimos irracionalmente, las modificaciones se producirán de igual forma, pero no siempre como esperamos. Por eso hay una "lucha contra la naturaleza", que parece ingrata y traicionera.

Las técnicas agrícolas deben ser adaptadas a nuestros suelos y a nuestro clima tropical [Brasil]. Y si el Presidente de la República dice: "la tecnología es buena, pero demasiado cara y tiene que ser adaptada", tiene toda la razón, porque la tecnología no adaptada no maneja sino que intenta forzar a la naturaleza, obteniendo escasos resultados donde se podrían lograr resultados altamente compensadores.

Por mucho tiempo se creyó que el clima de Brasil no permitía cosechas elevadas. Pero uno se pregunta: ¿los suelos vírgenes, recién desmontados, tienen acaso clima diferente al de los suelos vecinos, cultivados hace años? ¿Por qué los primeros producen generalmente muy bien y los segundos, en cambio, presentan cada día nuevos problemas que disminuyen las cosechas?

Nos fue posible producir cosechas altísimas en suelos abandonados, con técnicas simples adaptadas al clima tropical. Nunca preguntábamos el "know how", el cómo, la

técnica, pero sí el "know why", el porqué de la técnica, su razón de ser. Y produjimos cosechas altas por precios menores que los acostumbrados.

Los conocimientos, para un agricultor dedicado, tal vez no sean nuevos. Nuevo es solamente el coraje de decir *NO* al pasado y trillar nuestro camino tropical.

Para una mejor comprensión de este libro, sugerimos que la primera parte sea leída con mucha atención, ya que proporciona la base para la segunda. En caso contrario podrá dificultarse su interpretación que, bien hecha, hará nuestra agricultura más segura, más lucrativa y más saludable.

DISTRIBUCION DE LAS AREAS AGRICOLAS Y PASTORILES EN BRASIL

Del área total del Brasil, unos 8.511.965 km², aproximadamente el 10,4 % son tierras de labranza y pastizales cultivados.

Esta situación hace suponer que Brasil reúne enormes posibilidades para la producción agropastoril, toda vez que sean aumentadas las áreas de explotación. Según los estudios del IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) del año 1972, del área amazónica que tiene 3.574.000 km², solamente 2.731.000 km² constituyen bosques, y de acuerdo a datos del SUDAM de 1975, sólo son 2.600.000 km², continuando el desmonte a un ritmo de 100.000 km² por año, ver referencias bibliográficas (38).

Distribución de las áreas en Brasil (**Anuario del IBDF** *de 1972)*

Area/km²	*Utilización*	*%*
8.511.965	territorio nacional	100,0
715.005	uso agropastoril	8,4
3.251.000	bosques naturales	38,2
4.545.960	campos naturales, cerrados, ciudades, ríos, caminos y rutas	53,4

Debe distinguirse entre el potencial agropastoril de uso inmediato, y el potencial de uso luego de recuperación, al cual pertenecen los campos naturales y los cerrados o sabanas. Los bosques, que en su mayoría pertenecen al área amazónica, según datos del RADAM, sólo en un 10 % parecen poseer tierras apropiadas para la agricultura anual.

Los campos naturales y los cerrados o sabanas están siendo seriamente perjudicados por el uso indiscriminado del fuego. Por eso fueron instalados los "Polocentros de los Cerrados", con el objeto de recuperar estas tierras para fines agrícolas.

Observando la distribución de las áreas en el globo terrestre, vemos que el potencial productivo no es muy diferente del de Brasil.

Distribución de las áreas terrestres y su uso (**Saeman**, *1977)*

bosques	33,56%
tundras y estepas	17,46%
pastizales	16,78%
desiertos y hielo	16,80%
tierra cultivada	9,24%
agua dulce	13,69%
lodazales y pantanos	13,69%

(Verificamos que el área cultivada no sobrepasa el 10% de la tierra, lo que da lugar a pensar.)

Del 38 % de bosques brasileños debemos considerar una reserva del 30 %, el mínimo que la FAO recomienda para mantener el clima soportable, y que en la mayoría de los Estados del Brasil no ha sido observado.

Mediante el encalado y la fertilización podrían utilizarse parte de los cerrados. Pero como todavía dependemos en un 71 % de la importación de fertilizantes (ANDA, 1976), el uso económico de éstos depende, por lo tanto, del desarrollo de técnicas adecuadas que permitan la obtención de cosechas abundantes.

Las regiones subhúmedas y semiáridas pueden ser irrigadas. En 1975, según el Ministerio de Agricultura de Brasil, 1 ha de irrigación costó U$S 3.000,00 en instalaciones y drenajes. El mayor problema que se presenta es cómo evitar la salinidad, de acuerdo con afirmaciones del SUDAM. Existen medios para un manejo correcto de los suelos irrigados, todos ellos dependientes de condiciones biofísicas adecuadas.

Biofísica significa la física del suelo dependiente o modificada por la biología y la microbiología del suelo, por las raíces y por la materia orgánica.

Todos saben que las técnicas que tienen por finalidad el aumento de producción sólo son viables siempre y cuando este aumento sea económico y racional. De lo contrario, no dan lucro y los problemas rurales se agravan.

Todos están empeñados en aumentar la producción agrícola; sin embargo, nadie nos podrá enseñar el "know how". Este tiene que ser hallado a través de la investigación en la propia zona tropical. Por eso, la USAID estableció recientemente un programa para suelos tropicales, reconociendo que las técnicas empleadas actualmente no son satisfactorias para el manejo de los mismos.

SITUACION DE LA AGRICULTURA EN LAS ZONAS TROPICALES

Actualmente las regiones tropicales constituyen zonas de preocupación mundial, por el hecho de ser cada vez más populosas y, sin embargo, presentar el menor índice de producción alimenticia del mundo. Según la FAO (1957), el 44 % de la agricultura tropical es nómade, inclusive en Brasil. Este sistema de agricultura consiste en desmontar-plantar-abandonar, para cultivar la tierra nuevamente luego de 8 a 20 años de "reposo".

En Africa, cuando obligaron a la población a realizar una agricultura sedentaria, para evitar los choques entre las tribus, pese al empleo de tecnología moderna, llevada de Europa y EE.UU., los suelos fueron destruidos. Debido a ello **Jurion y Henry** (1969) recomendaron la reimplantación de la agricultura nómade por ser más segura y más rentable. ¿Por qué? Porque se olvidaron del factor más importante para la producción en suelos tropicales: su bioestructura (ver capítulo 7), provocando la queja amarga de la estación experimental de Rothamsted, al comprobar que "50 años de investigación en los trópicos no habían conseguido convencer a los pueblos de esas regiones, de la importancia primordial del mantenimiento de la estructura grumosa de los suelos, para la producción agrícola".

En Brasil, entre 1972 y 1976, el índice de crecimiento agrícola, según datos del Ministerio de Agricultura, fue del 4 al 6 % por año. La producción aumenta, pero especialmente por la incorporación de nuevas áreas que, según el Anuario Estadístico, son alrededor de 1 millón de ha por año. El incremento de la producción equivale, en la mayoría de los casos, al aumento del área, y el aumento de la productividad está restringido a algunos cultivos en ciertas regiones.

Esto encarece la producción, ya que cada hectárea cultivada requiere, en términos de costo, mayor cantidad de maquinarias, fertilizantes, defensivos, semillas y mano de obra. El aumento es horizontal en lugar de ser vertical. El índice de crecimiento no ha conseguido incrementar el lucro ni tampoco abaratar la producción, sino que, simplemente, garantiza por el momento el ritmo de exportación.

Lo máximo que se consigue con la tecnología actualmente utilizada es mantener un modesto nivel de producción por mayor tiempo, sin un abandono muy frecuente de las tierras. Esta producción, sin embargo, no se compara con la obtenida en suelos vírgenes,

recién limpiados y preparados, donde con fertilización y encalado se consiguen cosechas muy elevadas

Es evidente, por lo tanto, que:

1. Los suelos tropicales no son incapaces de producir cosechas abundantes, porque si así fuese, no presentarían rendimientos tan elevados en el primer momento de ser cultivados.
2. La tecnología importada de las zonas templadas no es apropiada para los suelos tropicales, y debería ser modificada.

Cada región debe desarrollar una tecnología adecuada, adaptada a las condiciones locales, para generar condiciones favorables al desarrollo vegetal. Y esta tecnología es un "ecotipo" que difícilmente puede ser utilizado en diferentes condiciones.

¡Se necesitan técnicas, pero técnicas apropiadas para la región en la que deben ser usadas!

Elementos de manejo

Capítulo 1

LA FISIOLOGIA DE LA PLANTA EN LOS TROPICOS

COMO LA PLANTA FORMA LAS SUSTANCIAS ORGANICAS

Los principios básicos de producción vegetal son iguales en todo el mundo. La actividad fundamental de las células que componen todos los seres vivos, desde la ameba que sólo posee una célula, hasta la planta, o el animal y el hombre, con su cantidad enorme de células variadas, es igual y funciona según los mismos principios, ver referencias bibliográficas (4).

La planta está compuesta por innumerables células, donde cada una es una verdadera "fábrica" de sustancias orgánicas, inclusive liberando y transformando energías. Para eso ella necesita de:

1. una fuente de energía o sol, es decir, la luz solar;
2. agua;
3. elementos de los cuales forma sus productos, tales como azúcares, almidones, proteínas y grasas. Estos elementos son: carbono (C) que ella capta del aire, hidrógeno (H) que toma del agua y oxígeno (O) que retira tanto del aire del suelo como del aire atmosférico y del agua. Estos tres elementos forman el famoso trinomio $C\text{-}H_2\text{-}O$, base para todos los carbohidratos, como azúcares, almidones, celulosa y otros. Falta todavía el nitrógeno (N), que los microorganismos del suelo fijan del aire, y los nutrientes minerales que la planta retira del suelo, como fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), etc.;
4. biocatalizadores para acelerar la formación de sus sustancias. Estos se llaman "enzimas" y, para que puedan funcionar, precisan de activadores como el potasio (K) o de micronutrientes. Dícese "micro" porque son necesarios sólo en cantidades mínimas para el buen funcionamiento del metabolismo vegetal (47). Son ellos especialmente: manganeso (Mn), hierro (Fe), cinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), aparte de vanadio (V), cobalto (Co), cloro (Cl), níquel (Ni), selenio (Se) y otros (5). Está también el magnesio, que sin ser micronutriente entra como activador de enzimas catalizadoras.

El magnesio y el hierro son indispensables en la formación de la clorofila, el verde de la planta que capta la energía solar.

COMO SE OBTIENE LA ENERGIA

La energía es indispensable para la mayoría de los procesos químicos en la planta. El comienzo de todo metabolismo en la planta se da a partir de las reservas que la semilla posee, con pocas excepciones, como las semillas de orquídeas. De allí la importancia de que

las semillas sean buenas y bien provistas de reservas. La planta forma las primeras raíces y hojas, absorbe agua e inicia la fotosíntesis todavía con las reservas de la semilla. Para la fotosíntesis ella posee aberturas en las hojas, los estomas, por los cuales sale el agua transpirada y entra el gas carbónico (CO_2). Con este dióxido de carbono y agua la planta forma los primeros carbohidratos $(C\text{-}H_2\text{-}O)_6$ con cantidades diversas del grupo de estos elementos, como por ejemplo $C_6H_{12}O_6$, que es el azúcar más comúnmente conocido, la glucosa. Debe llamarse la atención en que carbohidratos son todas las sustancias cuya estructura está formada por una cantidad variable del grupo $C\text{-}H_2\text{-}O$, incluyéndose aquí almidones, azúcares, celulosa, ligninas, etc. La planta descompone en parte la glucosa para obtener energía; otra parte la utiliza para formar sustancias más complicadas, inclusive en la formación de las proteínas (7, 13)..

Cuando la planta dispone de suficiente oxígeno en el suelo, recibe 673 Kcalorías por cada Mol de glucosa, pero cuando falta oxígeno, hace fermentar esta glucosa para la obtención de energía, recibiendo en este caso solamente 20 Kcalorías por cada Mol (figura 1-1). El uso eficiente de las sustancias fotosintetizadas depende, pues, de la presencia de suficiente oxígeno en el suelo, como veremos también en el capítulo 2. La energía es liberada en el momento en que nuevamente se forma agua en la planta a partir de glucosa; sin embargo, todavía no es utilizable. Ahora entra en acción una sustancia que parece casi milagrosa: un mononucleótido fosforado, el conocido ATP (adenosina trifosfato), que almacena y transfiere la energía para donde la planta la necesita. Sin fósforo, por lo tanto, no ocurre ningún proceso metabólico, ni formación de sustancias vegetales, ni división celular. Donde se necesita energía se hace imprescindible la presencia de fósforo. El proceso por el cual la planta descompone sus productos fotosintetizados para generar energía se llama simplemente "respiración".

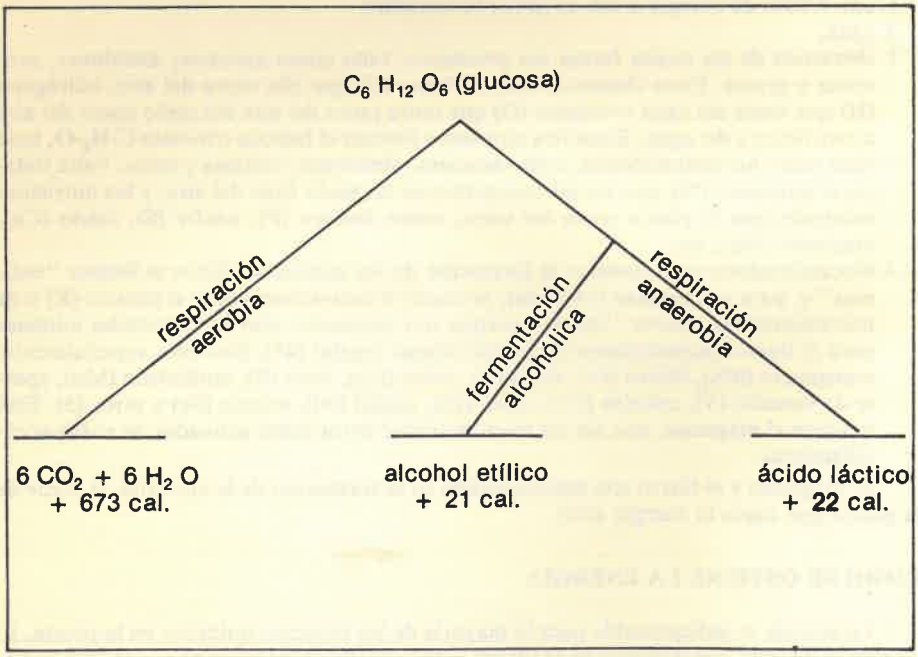


Fig. 1.1 *Obtención de energía a partir de la glucosa.*

EL AGUA EN LA PLANTA

Inicialmente la célula vivía sumergida en agua. También las primeras plantas eran acuáticas, bañadas de agua por todos lados. Pero cuando la planta se hizo terrestre, eso cambió. Solamente la raíz permanece en contacto con el agua del suelo, mientras que el vástago, es decir el tallo y las hojas, viven expuestos al aire entregándole su agua. Para reponer esta agua, la planta desarrolló un sistema de transporte, o sistema vascular, por el cual el agua sube cargando consigo minerales nutritivos a la vez que productos de síntesis primaria como aminoácidos que se formaron en la raíz (33). Este transporte ascendente ocurre a través del conjunto de vasos llamado xilema. Paralelamente existe el transporte descendente que lleva los productos fotosintetizados de las hojas a las raíces a través del floema. Es posible, por lo tanto, interrumpir el flujo ascendente del agua sin que se perjudique el flujo descendente (27).

El 95 % de la planta está formado por los elementos H^+ y $O^=$, siendo aproximadamente 80 a 85 % en forma de agua (H_2O) y 10 a 15 % en la forma metabolizada en carbohidratos y proteínas.

El agua es, pues, la base de toda vida vegetal y de la vida en general en nuestro planeta. Su absorción y pérdida por los vegetales son procesos cruciales.

Cuadro 1.1 *Pérdida de agua de una hoja en una hora a 20° C, expresada en porcientos del peso inicial total (práctica de aula según* **Kozlowski)**

planta hidrófita (acuática)	83.00
planta higrófita (de floresta o selva)	8.30
planta mesófita (de cultivo o pastaje)	0,94
planta xerófita (de lugares áridos)	0.09

De esto se puede deducir que la planta posee un mecanismo para protegerse de la pérdida de agua cuando está obligada a vivir fuera de ésta, y que este mecanismo es tanto más eficiente cuanto más seco e inhóspito es el ambiente.

Esta protección se hace por una película que, en clima seco, todavía es sobreprotegida por medio de cerosidad y pilosidad. Igualmente, la planta está protegida de la pérdida de agua por la forma cilíndrica de las hojas (*Pinus elliottii*, por ejemplo) y tallos como en las cactáceas. En casos extremos la planta deja caer sus hojas, como ocurre en el sertón[1] del nordeste, permaneciendo sólo el tronco suberoso, de cáscara gruesa y esponjosa, ofreciendo así más resistencia a la sequía (34).

El agua transportada hacia la hoja sirve, en parte, para refrescarla, evitando un supercalentamiento por insolación (16).

Cuadro 1.2 *Agua en las partes de la planta (***Kozlowski,** *1968)*

semilla (como nuez)	5%
semilla de cereal (trigo)	13%
semilla de girasol	30%
tubérculo de papa	75%
césped en floración	66 a 87%
leguminosa en flor	75 a 86%
bulbo de cebolla	88%
fruto del pepino	95%
alga marina	95 a 98%
cactácea del desierto	95 a 99%

[1] Sertón (*Sertão*), región semiárida del N y NE del Brasil. (*Ing. Jorge S. Molina*)

Debe llamarse la atención sobre la cantidad de agua almacenada en el tejido de la planta desértica, que equivale al agua almacenada en el de la acuática, constituyendo, por lo tanto, un recurso valioso de agua para el ganado y el hombre en estas regiones áridas.

TERMOSTATOS NATURALES: LAS FLORESTAS O SELVAS

La planta transpira perdiendo agua hacia el aire en forma de vapor. En el pasaje de la fase líquida a la gaseosa el agua necesita de 539 calorías tomadas del aire, para cada mililitro de agua transpirada. Esto refrigera la superficie de la hoja (8) y al mismo tiempo transforma la floresta o bosque en el mayor termostato que poseemos. Cuando la temperatura sube, el agua transpirada aumenta proporcionalmente, retirando calor del aire. De modo que la Amazonia ecuatorial posee una temperatura media de 24° C, oscilando entre 21 y 28° C. No existen los extremos de temperatura conocidos en los desiertos, como por ejemplo la región de Gaza donde, de día, la temperatura sube a 45 y hasta 50° C, y de noche baja a 4 y hasta − 1° C. La razón de estas oscilaciones es la falta de agua que podría ser transpirada y, más exactamente, la falta de bosques o represas o lagos que actuasen como termostatos. En las zonas de Argentina donde los bosques fueron eliminados para dar lugar a campos de pastoreo o agrícolas, ocurre el mismo fenómeno, de modo que las temperaturas extremas durante las 24 horas del día están dando un carácter semidesértico al paisaje. Donde los bosques todavía permanecen intactos, las temperaturas son mucho más suaves.

Las presas y represas o el mar tienen un efecto semejante.

LA ABSORCION DEL AGUA POR LA PLANTA

La absorción pasiva por vía física

La pérdida de agua hacia el aire naturalmente causa un déficit en la hoja, que se denomina "presión negativa" o "tensión". Esta presión negativa o tensión es la fuerza de succión con que parte del agua del suelo entra en la planta, una vez que esta succión existe en todo su sistema vascular, aunque con intensidad decreciente en dirección a la raíz (34). La fuerza de absorción física de la planta depende de la temperatura y de la humedad relativa del aire. Cuanto más baja fuera la humedad, tanto mayor será la fuerza de succión de la raíz (5, 11).

En nuestro clima tropical y subtropical, donde la humedad relativa del aire generalmente es elevada, muchas veces aproximándose a la saturación, el agua transpirada por la planta puede ser poca, especialmente por pasar el 90 % de la transpiración por los estomas, y éstos se cierran durante el calor del día en muchas plantas (11) pero pueden quedar abiertos en otras como, por ejemplo, en árboles del "cerrado"[2] (15).

Cuando los estomas se cierran, el gradiente de presión también será mucho más pequeño, no habiendo fuerza suficiente para la absorción (29, 52), especialmente cuando la concentración de iones en el agua del suelo fuere elevada (34).

En los trópicos, la planta absorbe buena parte del agua por la presión osmótica de la raíz (28, 29) y hasta el transporte hacia las hojas puede procesarse, en parte, por la "presión" de la raíz (48) y en parte por la "tensión" en la hoja (11).

La presión osmótica de la raíz depende, principalmente, del metabolismo vegetal y sólo en pequeña escala, de los cationes acumulados en el vacuolo celular (48).

Según **White** (1938), el vegetal es capaz de bombear agua hasta 60 metros de altura por presión de la raíz.

[2] Enorme región semiárida tropical. Brasilia está edificada en el "cerrado". (*J. S. M.*)

Raíz de planta de cultivo	5 a 20 atm.
hoja	30 a 40 atm.
suelo de cultivo	0,3 a 5 atm.
suelo salino del desierto	30 a 100 atm.

En clima templado se admite que el 95 % de la absorción del agua ocurre por el déficit de presión en la hoja, aprovechándose los bajos contenidos de humedad relativa del aire (6, 11, 26).

En el clima tropical, la planta no siempre consigue absorber lo suficiente por vía física, teniendo que hacerlo por vías fisiológicas; esto quiere decir que tiene que crear energía de absorción a través de su metabolismo (42, 51, 52).

La absorción activa por vía fisiológica

La absorción activa del agua ocurre por procesos osmóticos en las células radiculares o, para decirlo más simplemente, por la presión negativa producida por la cantidad de sustancias contenidas en el jugo celular.

Es, por lo tanto, igualmente un déficit de presión que se expresa por la fórmula:

$$D.P.D. = \frac{R.\ T.\ s \times 100}{M} \times 1\ n\ H.\ R.$$

D.P.D. = déficit de presión de difusión; R = constante de los gases; T = temperatura absoluta; s = peso molecular del agua; H.R. = humedad relativa del aire; M = peso molecular del agua con todas las sustancias allí disueltas.

La presión osmótica siempre es un valor negativo y equivale al déficit de presión de difusión.

Osmosis es el pasaje de agua con sus solutos por una membrana semipermeable; y depende de la energía cinética libre del agua, como está ilustrado en la figura 1-2.

Esto es de máxima importancia y es la base de buena parte de absorción en el clima tropical de Brasil. Explica, como será mostrado más adelante, por qué a veces el abono químico tiene un resultado insignificante y hasta negativo en las zonas secas del nordeste brasileño con suelos salinos. Pero, en el momento en que se comprende el mecanismo de funcionamiento, será posible el desarrollo de una técnica agrícola adecuada (2). Veamos: si alguna sustancia fuese disuelta en el agua, por ejemplo, glucosa o potasio, la cantidad de moléculas de agua por cm^3 de espacio, disminuye lógicamente, porque tiene que compartir el espacio con el soluto. Existe así, no sólo menos agua y menos energía cinética en esta unidad de espacio, sino que también los movimientos de las moléculas de agua se ven más dificultados por la glucosa o el potasio.

Por lo tanto: *la energía libre de una solución disminuye a medida que la concentración del soluto aumenta.* Se establece un déficit de presión en relación al agua pura. Cuanto mayor es este déficit, tanto mayor será la difusión de agua de la solución más débil, que posee mayor energía cinética, para la solución más concentrada. La célula bien provista de metabolitos, por consiguiente, tiene la capacidad de apoderarse de agua con mucha más fuerza que una célula mal nutrida.

De esta manera hay cuatro posibilidades para la planta (2, 13, 42, 51, 52):

1. la planta está bien nutrida y la solución del suelo posee concentración débil, como ocurre normalmente en suelos tropicales, que son considerados "pobres" en nutrientes, en relación a los suelos de clima templado. Aquí la planta absorbe agua con mucha facilidad.

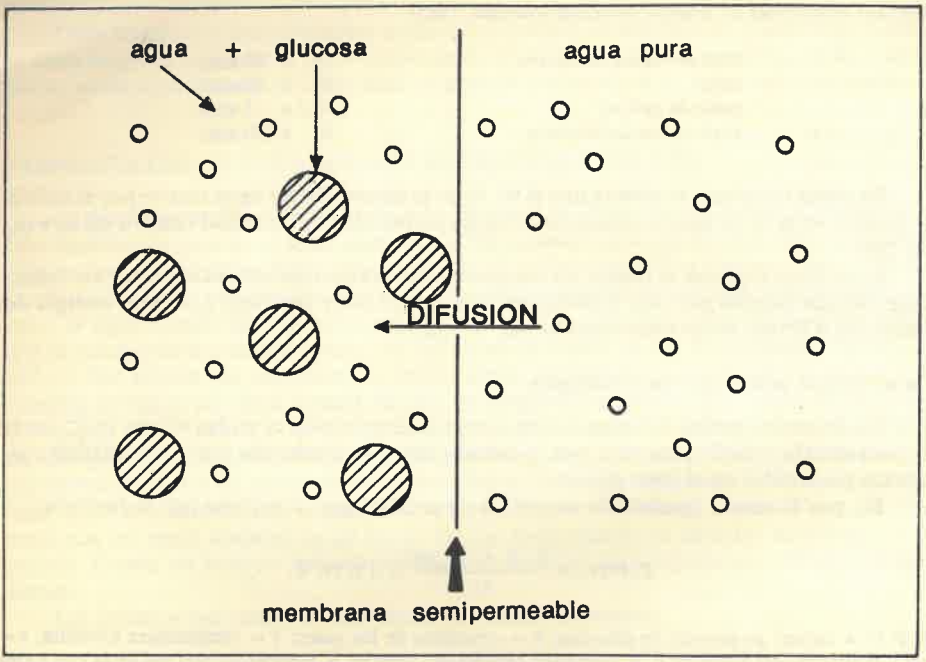


Fig. 1.2 *Esquema de ósmosis: difusión de agua por una membrana semipermeable de la solución más diluida a la solución más concentrada.*

Como la planta compensa la menor cantidad de nutrientes por volumen del suelo, por un sistema radicular mayor (ver capítulo 2), ella no solamente absorbe agua con facilidad, sino que también encuentra mucha agua disponible en el suelo, por tener una mayor extensión de raíces. La condición sine qua non, no obstante, es que el suelo tenga una estructura grumosa, de densidad aparente baja (0,9 a 1,2 g/cm^3);

2. la planta está bien nutrida pero la concentración de la solución del suelo es alta. Esto ocurre en tierras abonadas o fertilizadas comercialmente, o en época de sequía, cuando el agua del suelo disminuye. La planta tendrá dificultades en absorber agua en el momento en que la temperatura del suelo y del aire suben, por existir poca diferencia de concentración entre la solución externa, del suelo, y la interna, de la célula. La planta sufre la falta de agua con facilidad (31);
3. la planta está mal nutrida y, a pesar de existir suficiente agua en el suelo, tiene dificultades en absorberla por no tener presión osmótica suficiente. Este caso ocurre en suelos pobres no fertilizados;
4. la planta está mal nutrida y la concentración en la solución del suelo es alta, como ocurre en suelos salinos o en los que recibieron una fertilización muy densa. La planta encuentra mucha dificultad en absorber agua y con ella el abono. Sufre de la falta de agua a pesar de existir la suficiente en el suelo. Esto se llama "sequía fisiológica" (29).

La planta mal nutrida sufre la sequía con mucha mayor anticipación que una bien nutrida (27).

Surge entonces la pregunta: ¿cuándo es que una planta está bien nutrida?

La mayoría responderá: cuando tuviere la cantidad suficiente de nutrientes a su disposición en el suelo, y cuando éstos fueren absorbidos por la planta.

Desgraciadamente, esto no es suficiente. *¡La planta solamente está bien nutrida cuan-*

do es capaz de metabolizar en poco tiempo los nutrientes absorbidos! Y esta metabolización debe llegar hasta los productos finales como proteínas, y no puede detenerse en los aminoácidos.

La nutrición del vegetal no sólo depende de los elementos nutritivos, como también de los metabolitos, es decir, de los productos metabolizados, como azúcares, proteínas y muchas otras sustancias.

La presión osmótica de la raíz se debe, principalmente, a los carbohidratos y en mucha menor escala a los cationes absorbidos, como calcio, potasio y otros.

Sin embargo, la metabolización todavía no es suficiente. Se necesita que los metabolitos sean transportados a la raíz. Y en este transporte actúa especialmente el micronutriente boro (36). Aunque el potasio es importante en el transporte de azúcares dentro de la parte verde del vegetal, la consistencia radicular no se altera cuando éste es deficiente. No obstante, cuando hubiere una deficiencia de boro, la raíz quedará desprovista de carbohidratos (ver capítulo 2).

Para que una raíz esté bien nutrida necesita estar abastecida de productos fotosintetizados por la hoja. Estos deben ser transportados por la corriente descendente. Aumenta la presión osmótica, dependiendo de ella el crecimiento radicular, la absorción de nutrientes y la turgencia de las hojas (13, 42).

Se verifica una interacción muy estrecha entre la fotosíntesis y el potencial radicular. Si la fotosíntesis disminuye, la raíz pierde nutrición y disminuye su potencial de absorción (33). Disminuyendo la absorción de agua y nutrientes, disminuye a su vez la fotosíntesis. Se entra en un círculo vicioso en el que disminuye, cada vez más, la absorción por las raíces y la fotosíntesis por las hojas, debilitándose la planta a tal punto que madura precozmente para todavía poder reproducirse. El resultado es el fracaso de la cosecha.

LA GERMINACION Y LA CALIDAD DE LA SEMILLA

Ninguna raíz se desarrolla sin los productos de la fotosíntesis. Pero el germen todavía no tiene hojas cuando crea su raíz. El primer impulso debe venir de la reserva de la semilla, ella debe abastecer la energía inicial, como el fósforo para actuar en su transporte, el magnesio para la clorofila y la presión negativa, para que la semilla tenga la capacidad de absorber agua. Cuanto más rica sea la semilla en carbohidratos, tanto más fácilmente absor-

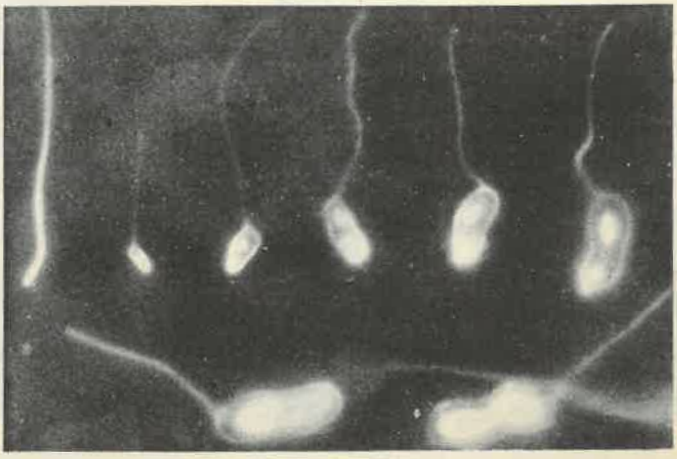


Fig. 1.3 *Acumulación de fósforo radiactivo (P^{32}) en semillas de maní* (**H. C. Harris**, *1973*).

berá agua. Esto, porque la semilla consigue absorber físicamente sólo parte del agua necesaria para su germinación. Existe un punto, a partir del cual la absorción ocurre por vía fisiológica, es decir, por ósmosis. *¡Semilla rica germina mejor!* (35, 51). Por otro lado se sabe que en los suelos compactados, abonados y plantados con semillas de pocas reservas en carbohidratos, como la de soja, ésta casi no consigue nacer por estar impedida de absorber el agua indispensable para la germinación (ver capítulos 2 y 7). La semilla deficiente en fósforo no consigue iniciar los procesos metabólicos, necesitando siempre una reserva de este nutriente (fig. 1-3).

Sin fósforo no hay transferencia de energía, indispensable para la mayoría de los procesos metabólicos.

La riqueza en carbohidratos puede ser determinada aproximadamente por el peso hectolítrico de la semilla. Cuanto mayor sea el peso de un hectolitro de granos, tanto más ricos son en carbohidratos y tanto más fácil será, por lo tanto, la germinación. Cuanto más rápidamente puedan apoderarse de agua, tanto más temprano iniciarán el proceso de crecimiento. En granos muy deficientes en carbohidratos, como los de maíz "chuzo" (48), la germinación demora mucho más tiempo debido a la dificultad de la semilla en absorber agua, dando por ello mayor posibilidad a ser atacadas por hongos, que pueden aniquilarlas. Las semillas se protegen de los hongos por medio de preparados de mercurio, pero no existe posibilidad de ayudarlas a absorber agua de suelos muy densos. Esto vale tanto para semillas (granos) como para estacas y acodos. Por eso, *¡sólo lo mejor puede servir de semilla!*

En las figuras siguientes se muestra el efecto de deficiencias minerales sobre la fuerza germinativa y el vigor de crecimiento de las plantas. Puede haber semillas de aspecto bueno, pero si son deficientes en boro, los gérmenes morirán como muestra la figura 1-4. Las semillas plantadas que no nacen se pudren en el suelo.

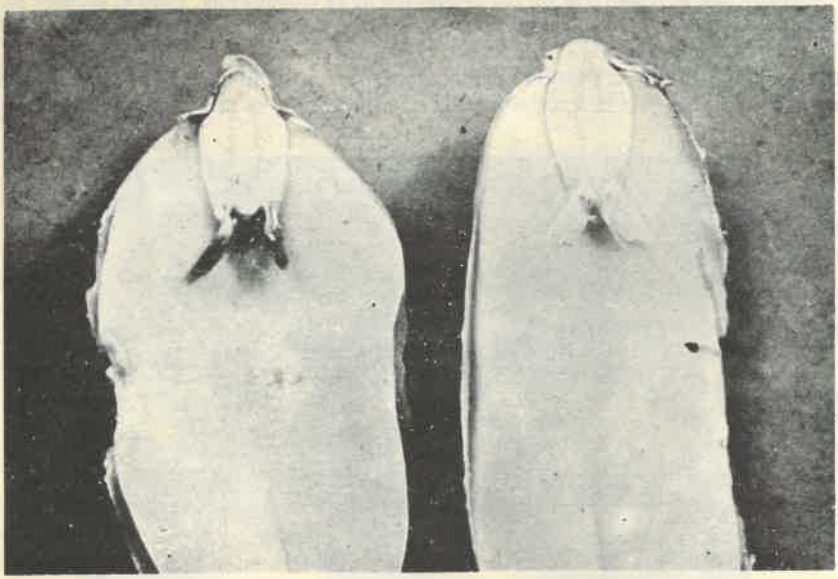


Fig. 1.4 *Semilla de maní con germen necrótico (a la izquierda) debido a la deficiencia de boro (gentileza* **H. C. Harris***).*

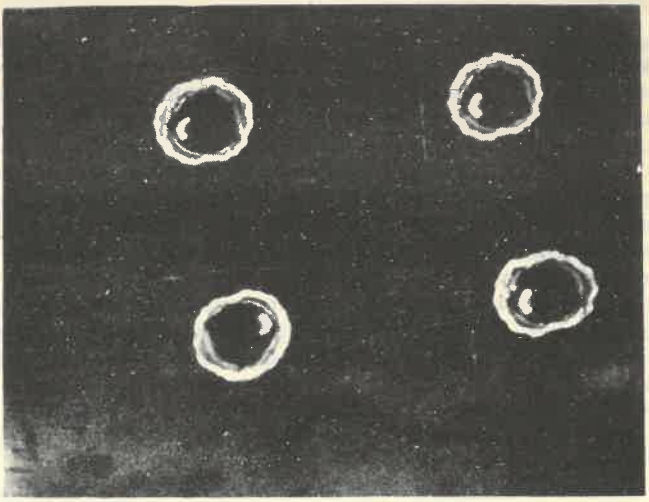


Fig. 1.5 *Maní nuevo con depósito de calcio radiactivo en la cáscara y en la semilla (gentileza* **H. C Harris***).*

Sin embargo, cuando falta calcio y las semillas consiguen formarse, se ven deformadas con una caverna en el medio, o sea con un tejido central necrótico. Estas semillas nacen cuando las condiciones del suelo son buenas, especialmente cuando no hay costra superficial, pero su vigor de crecimiento es muy débil, por causa de la deficiencia de reservas, y muchas plantas mueren pequeñas.

En la figura 1-5 se verifica, por ejemplo, la necesidad del maní de encontrar el calcio suficiente en el suelo para poder formar semillas de buena calidad.

Además de las deficiencias minerales de las semillas, de la falta de agua, de la pobreza en carbohidratos y costras superficiales del suelo que dificultan la aparición de las plantitas, también la presión osmótica en la solución del suelo puede perjudicar la germinación.

Todos saben que el fertilizante en línea, junto con la semilla, retarda la germinación simplemente porque aumenta la presión osmótica en la solución del suelo, lo que dificulta la absorción fisiológica (ver capítulo 8) de agua por la semilla. En este sentido el ion cloro (Cl^-), que generalmente acompaña el abono potásico en la forma KCl, tiene un efecto más depresivo sobre la germinación de la semilla y la absorción de agua. El carbonato de potasio sería mucho más inofensivo. No sólo la concentración de la solución del suelo es de importancia, sino también el tipo de soluto presente, que puede llegar a presentar efectos tóxicos.

Cuadro 1.3 *Producción de trigo en relación a la presión osmótica de la solución del suelo y del tipo de soluto (***Müller***, 1973/74)*

	rendimiento
0,3 atm. en la solución del suelo	100%
0,4 atm. en la solución del suelo	75%
0,4 atm. en la solución del suelo por NaCl	8%
0,4 atm. en la solución del suelo por $MgCl_2$	45%
0,4 atm. en la solución del suelo por $MgSO_4$	83%

Todas las combinaciones que contienen cloro son más depresivas que las que no lo tienen, especialmente sobre la germinación. Por eso los suelos salinos por exceso de cloruros son más perjudiciales que los suelos salinos por carbonatos.

Se sabe igualmente que las semillas más perjudicadas por la elevación de la presión osmótica en el suelo son las de leguminosas, como porotos o soja, porque son más ricas en proteínas y más pobres en carbohidratos, teniendo una presión osmótica menor. Esta es también la razón por la que puede fallar la germinación de la soja, cuando se la pone en contacto con abono potásico.

¡Se debe cuidar de *no colocar nunca el abono en la línea junto con la semilla*!

Hay diversos métodos de enriquecimiento de la semilla, como humedecimiento con solución de micronutrientes o sumersiones en esta solución, la peletización con calcio o fosfatos o micronutrientes que serán tratados más adelante, y la pulverización o rociamiento con óxidos de micronutrientes.

Para que la semilla nazca es necesario una determinada temperatura en el suelo, que es diferente y específica para cada especie. Si esta temperatura sobrepasara por encima o por debajo ciertos límites la semilla entra en letargo y, si fuera muy distante de la temperatura ideal, se impide la germinación.

LA TEMPERATURA Y LA PRODUCCION VEGETAL

Se sabe que la temperatura tiene un papel preponderante en la producción vegetal. En el clima templado la temperatura media anual oscila entre 9 y 15° C y la temperatura máxima del suelo, por ejemplo en Escocia, es de 14° C, lo que equivale a la temperatura mínima en las zonas subtropicales del Brasil.

En el clima tropical los cultivos pueden sufrir el efecto de temperaturas elevadas, y al mismo tiempo, la dificultad de absorción de agua. Este efecto raramente ocurre en suelos recién desmontados de selva, es decir vírgenes, y es muy pronunciado en suelos cultivados por muchos años o en pastajes permanentes y mal tratados.

¿Será por el rápido empobrecimiento la razón por la que el suelo en clima tropical muchas veces no reacciona satisfactoriamente a una fertilización (ver capítulo 8), y rara vez se obtienen resultados como en los EE.UU. o Europa? ¿Por qué el bosque tropical produce en 18 años lo que el templado produce en 100 años? Si la causa fuese solamente el invierno y los 4 a 6 meses de detención en el crecimiento, la relación debería ser de 1:2 o hasta 1:3, pero nunca 1:5. Aparte de eso, en muchas zonas existe igualmente una época de detención de crecimiento causada por la sequía, de modo que en este sentido estaría equiparada al clima templado...

¿Cuáles son los factores que crean este ambiente extremadamente favorable al crecimiento de la floresta tropical?

Por otro lado, la producción agropastoril es baja en las zonas tropicales, lo que no es propio al clima cálido, pero que debe estar originado en un manejo errado de los suelos, o tal vez de los cultivos, ya que utilizar la tecnología no significa hacerlo en la forma acertada.

Cómo influye la temperatura sobre la planta

1. Aumenta la respiración vegetal, lo que significa más energía. Por otro lado, gasta más productos fotosintetizados y se debilita con ello el potencial osmótico radicular. La planta posee un metabolismo acelerado que la podría habilitar para una producción mayor, como ocurre en las selvas vírgenes. Parece que el punto crítico está en la raíz, que debe tener la posibilidad de absorber lo suficiente, aun con presión osmótica baja (23);
2. Aumenta el crecimiento radicular (ver capítulo 2), cuando el suelo lo permite (si no tiene capas muy compactadas);
3. aumenta la transpiración y el gasto de agua, dependiendo, pues, de un suelo con buena capacidad de almacenamiento de agua útil;

4. disminuye la fotosíntesis neta y, cuando falta agua, disminuye igualmente la fotosíntesis bruta una vez que, normalmente, los estomas se cierran impidiendo la salida de agua pero también la entrada de gas carbónico.

Por lo anterior deducimos que, en suelos que ofrecen impedimentos a la expansión radicular y con eso a la absorción de agua, y en plantas que estuvieran nutridas de manera incompleta, durante el calor del día la fotosíntesis será muy reducida, el vegetal gastará los productos fotosintetizados y el crecimiento será lento.

Si el agua fuese escasa y la planta mantuviera sus estomas cerrados por mucho tiempo, se podría llegar a un punto en que el producto de la fotosíntesis fuera nulo al haber sido gastado en la respiración. Continuando la respiración, la planta inicia la descomposición de productos ya metabolizados, inclusive proteínas. Pierde toda su turgencia y el marchitamiento es irreversible.

De un desecamiento pasajero la planta se recupera, aun cuando haya sido muy intenso; pero a partir del punto en que el vegetal gasta su sustancia, se marchita en forma permanente, y la planta se muere.

Cuanto más tiempo la planta mantuviere los estomas cerrados, tanto menor será su producción. Cada hora que falte la fotosíntesis, faltará la producción de sustancias vegetales.

El problema es el *equilibrio entre fotosíntesis y respiración* (6, 11, 33).

Como se puede verificar en la figura 1-6 en clima tropical las plantas alcanzan la respiración óptima y la fotosíntesis neta con 25° C. Si la temperatura sube más, los estomas de muchas plantas se cierran, aunque continúa la respiración sin que haya fotosíntesis, bajando por lo tanto la producción de productos fotosintetizados y aumentando su consumo. De modo que en una temperatura aproximada de 48°C se alcanza el punto cero. De aquí en adelante la planta comienza a gastar su sustancia. En clima templado la temperatura óptima está alrededor de 12° C, alcanzándose el punto 0 aproximadamente a los 24° C. El efecto de la temperatura depende, pues, no sólo de las propiedades genéticas del vegetal, sino también de la disponibilidad de agua y de una respiración económica, o sea, un máximo de energía liberada de un mínimo de glucosa, lo que ocurre sólo en un suelo suficientemente aireado.

El efecto benéfico de temperaturas elevadas depende pues de:

1. la protección de un supercalentamiento del suelo y del aire. Esta protección del suelo reside en brindarle sombra, ya sea por la capa vegetal o por una cobertura muerta. El recalentamiento del aire se evita con áreas suficientemente grandes y bien distribuidas de florestas (selvas) o represas;
2. cantidades suficientes de agua a disposición de las plantas, lo que ocurre cuando las raíces consiguen explorar un volumen grande del suelo, o por irrigación;
3. cantidad suficiente de aire en el suelo, lo que depende de la estructura grumosa del mismo y de la protección y conservación de estos grumos;
4. suficientes nutrientes a disposición, sin que escaseen ni se encuentren en concentraciones demasiado elevadas, que dificultan su absorción.

Las técnicas en la agricultura tropical deben adaptarse a estas exigencias.

En clima templado la planta raramente cierra los estomas durante el día, que es relativamente frío, y de esta manera la fotosíntesis continúa. No obstante, la respiración es débil debido a la baja temperatura, faltando así energía para la metabolización (34). Las técnicas agrícolas de las zonas templadas tienden, por eso, a aumentar la respiración aumentando la insolación del suelo, lastimando las plantas en crecimiento con rejas de dientes articulados y por medio de productos húmicos. Uno de los más poderosos activadores de la respiración son los subproductos de los ácidos húmicos, *fenoles* y *quinonas* (ver capítulo 4).

De modo que, en clima templado, la producción vegetal depende esencialmente de téc-

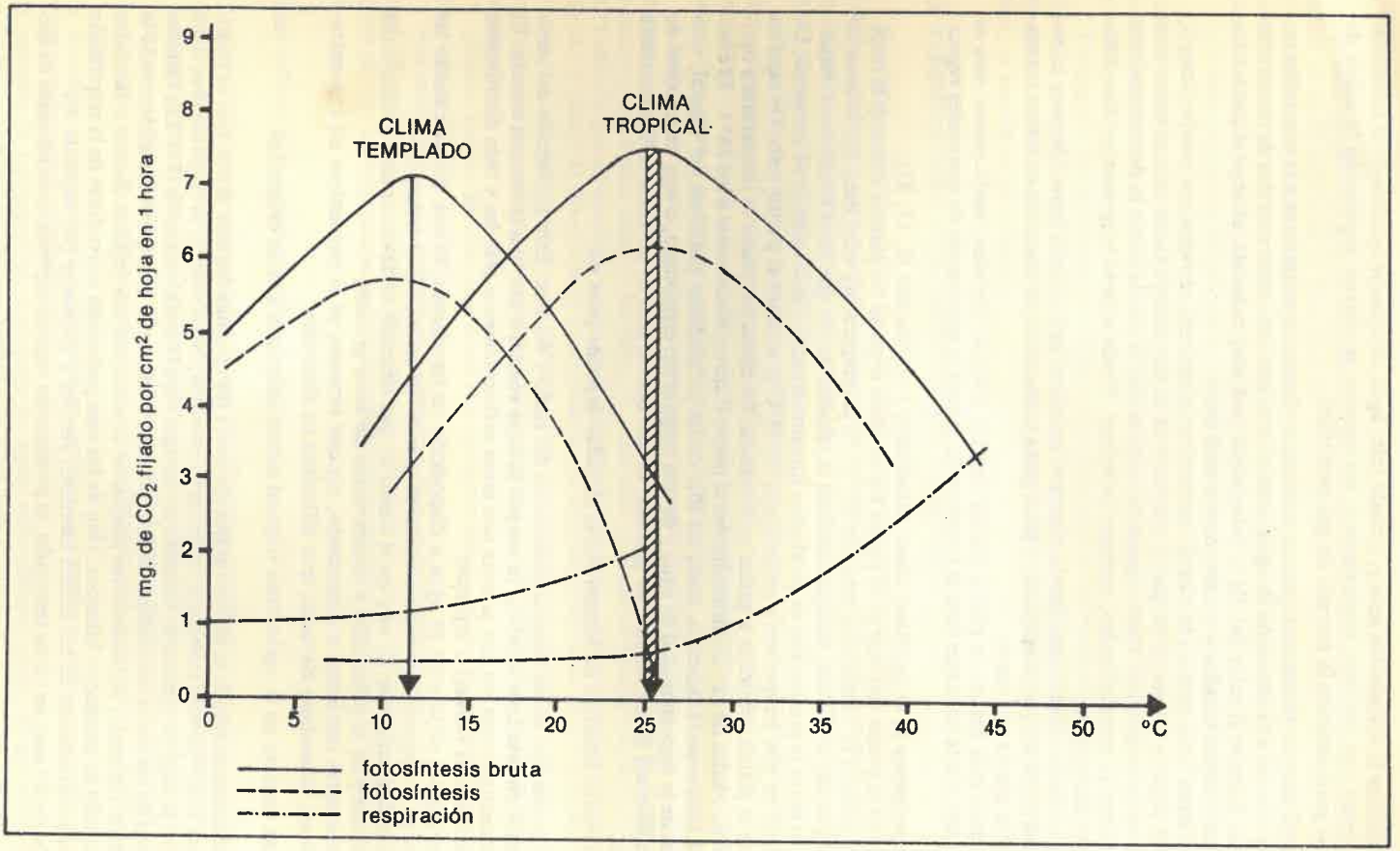


Fig. 1.6 *Fotosíntesis* × *Respiración en climas tropical y templado* (**Müller**, *1973*).

nicas de animación de respiración y de calentamiento del suelo, para crear más energía para el metabolismo.

En el clima tropical ocurre lo inverso. La respiración y la metabolización son muy activas y la fotosíntesis se torna fácilmente deficiente. Las técnicas agrícolas deben restringir la respiración y aumentar la fotosíntesis.

Para eso es importante saber de qué factores depende la fotosíntesis. Ella depende:

1. del abastecimiento suficiente de la planta con agua para evitar que se cierren los estomas. Esto se logra con el aumento del espacio enraizado, es decir, por la conservación de una estructura grumosa del suelo o por la irrigación;
2. del consumo económico de esta agua que depende de la sanidad y nutrición vegetal;
3. de la disminución de la respiración, que se consigue así:
   a) disminuyendo la temperatura del suelo, es decir, protegiéndolo de la insolación directa, que se logra con un espaciamiento menor, cultivos intercalados o una cobertura muerta;
   b) por semisombreamiento del cultivo, protegiéndolo de la insolación excesiva, un 30 % de sombra es suficiente (ver capítulo 9);
4. de la producción máxima de energía por Mol de glucosa, que depende de la aireación adecuada del suelo, lo que se consigue con la conservación de su estructura grumosa;
5. de un anabolismo rápido, esto es, de la producción rápida de sustancias orgánicas que aumentan igualmente el potencial radicular y con ello, la fotosíntesis, y que torna el plasma celular más viscoso, evitando un gasto excesivo de agua. Por lo tanto, los micronutrientes son esenciales a la producción vegetal (39, 45);
6. del control de la temperatura en general, por florestas o represas;
7. del factor C-4 y su influencia en la fotorrespiración.

Las plantas tropicales en general poseen mayor capacidad de utilización de la luz y el agua, y en consecuencia, de fijación de CO_2 (14, 17, 18, 37). También pueden producir mayor cantidad de materia seca por unidad de agua transpirada (20). Se sabe que las plantas superiores pueden ser subdivididas en dos grupos, de acuerdo con los pasos iniciales de fijación fotosintética de CO_2.

En el primer grupo (C-3), el CO_2 es fijado inicialmente en ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) en el ciclo de **Calvin**. En el segundo grupo (C-4), el CO_2 aparece primero en ácidos con 4 átomos de C (málico, aspártico u oxalacético), y que se denomina tipo **Kranz** (19). La función principal del grupo C-4 parece ser posibilitar una mayor eficiencia de la fotosíntesis. Prácticamente todas las gramíneas tropicales, como caña de azúcar, maíz, sorgo y forrajeras (37) pertenecen a este grupo que posiblemente incluye muchas otras plantas tropicales. Pero existen también otras plantas tropicales como el arroz y las del tipo *Bambusaea*, que pertenecen al grupo C-3, lo que parece una excepción.

Esto significa que los países tropicales podrían producir mucho más que los países templados, si supiesen utilizar convenientemente los suelos.

EL ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA CON AGUA

Generalmente se piensa que el abastecimiento de agua sería especialmente a través de irrigación. Es cierto que el abastecimiento de la planta con agua depende de la cantidad suficiente disponible en el suelo, pero la disponibilidad no depende solamente de la irrigación. Agua disponible es aquella que se encuentra en los poros medios del suelo. Estos poros deben ser tan pequeños que no la pierdan por la fuerza de la propia gravedad, sin embargo, deben ser tan grandes, que la planta pueda retirar el agua con toda facilidad, lo que ocurre entre 0,1 y 0,5 atm. Estos poros dependen de la textura del suelo. Si éste fuera de arena fina, tendrá exactamente la textura óptima para la disponibilidad de agua. Sin embargo, no todos los suelos son de arena fina; y las arenas finas no son ideales para la producción vegetal, por ser pobres en minerales.

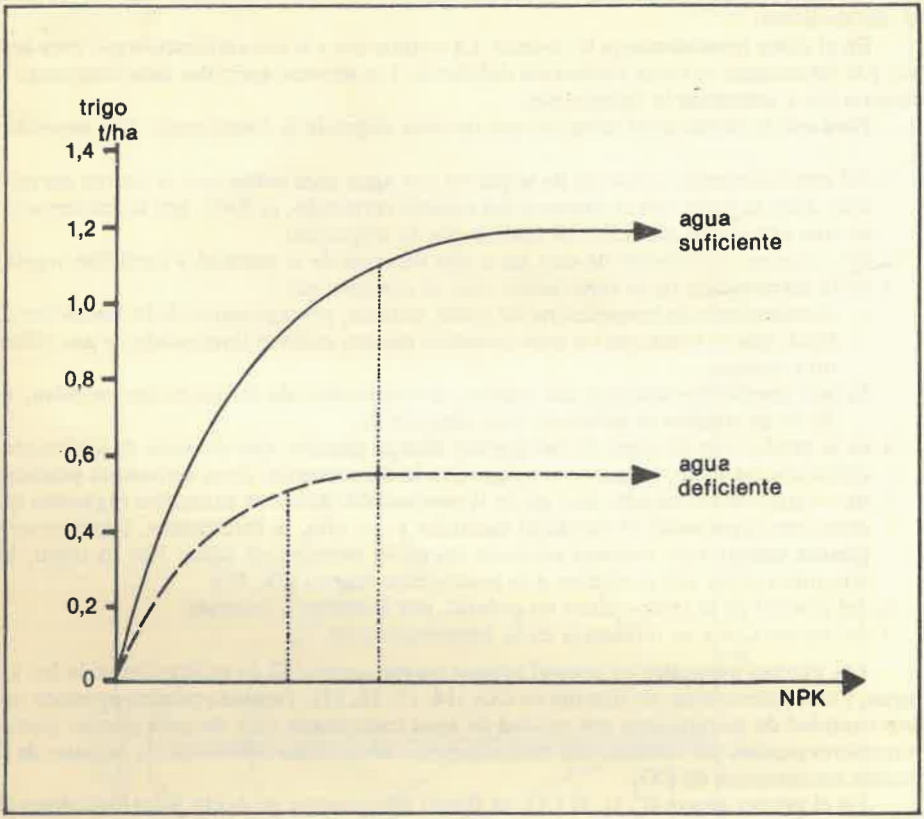


Fig. 1.7 *Efecto de dosis crecientes de agua y nutrientes sobre la producción de trigo (***Bogulawski,** *1954).*

Las arcillas poseen una textura tan fina, provocando la retención de agua con tanta fuerza, que pocas plantas consiguen tomarla del suelo. Pero las arcillas pueden ser ricas en nutrientes y muchas veces tienen una adecuada capacidad para suplantarla. La naturaleza sabe superar el problema de las arcillas, y en suelos vírgenes se encuentran agregadas en grumos, de modo que reúnen las cualidades favorables de la textura más gruesa de las arenas, con la mayor riqueza de las arcillas. Los agregados deben tener un diámetro de 0,5 a 1,0 mm y completar un mínimo de 43 a 45 % del total del suelo arcilloso, siendo lo óptimo entre 60 a 63 % (ver capítulo 7). Lo más importante de estos grumos es que sean estables al agua y no se disgreguen al caer la primera gota de lluvia (ver capítulo 2).

La disponibilidad de agua en el suelo se mide en pF, atmósferas o milibares. El pF es el logaritmo negativo de una columna de agua de una determinada altura. Una columna de agua de 1000 cm (exactamente 1013 cm) corresponde a 1 atmósfera de presión o 1013 mB o pF3. Los valores mínimos oscilan entre 0,14 y 0,65 atm, es decir, pF 2,18 a 2,81.

Generalmente se establece como límite de agua disponible el que puede ser retirado a 2,4 pF de tensión. Este límite es arbitrario, dependiendo de la planta, ya que las plantas de suelos salinos no se marchitan aun con 2,4 pF, o sea, 0,5 atm de tensión de agua en el suelo. Consiguen retirar agua hasta de pF 4,5, es decir, 15 atm, y en casos extremos hasta 100 atm (33).

Para que haya agua disponible en el suelo, debe haber antes de todo la posibilidad de infiltrarse. Cuando la mayor parte del agua pluvial se escurre debido a la formación de una costra impermeable sobre el suelo, es inútil que haya precipitaciones abundantes. Estas sólo causan erosión y crecientes pero nunca sirven a la producción vegetal. En Africa encontramos desiertos en zonas con 2800 mm de lluvia por año, como será tratado más adelante (44).

La planta no necesita sólo de agua disponible en el suelo, también debe tener la posibilidad de absorberla.

Habrá falta de agua para la planta cuando:

1. hubiere escasez de agua en el suelo;
2. el agua existente no está disponible debido a la tensión elevada;
3. el agua disponible del suelo tuviera presión osmótica mayor que la raíz, consecuente de una concentración elevada de solutos;
4. las raíces tuvieren su camino obstaculizado por capas muy densas impidiendo la penetración del suelo en busca de humedad;
5. las raíces fueren atacadas por parásitos, como nematodes;
6. las raíces fueren perjudicadas por anaerobismo en el suelo, ya sea por encharcamiento o por compactación;
7. el metabolismo de las plantas fuere deficiente y la raíz estuviera mal nutrida, teniendo un potencial radicular reducido.

Por lo anterior deducimos que la falta de agua puede ocurrir aun cuando ésta existiera en el suelo en forma disponible, y hasta puede darse el caso extremo de que las plantas se marchiten por falta de agua en terrenos inundados, al no poder absorberla por falta de oxígeno (27, 29). Por eso, la irrigación de un suelo completamente compactado y empobrecido rinde poco efecto. De la misma manera que la irrigación aumenta el efecto de fertilización en épocas secas, la fertilización aumenta el efecto de irrigación en suelos pobres, como muestra la figura 1-7.

Así como una fertilización aumenta la eficiencia de la irrigación en suelos pobres, también puede ser factor de inducción a una sequía precoz, por elevar la presión osmótica del suelo (sequía fisiológica). Aparte de esto, los iones poseen un efecto hidratante o deshidratante sobre las células de la raíz, que depende de la cantidad de hidratación que posean y que disminuye con el aumento de las valencias de los iones, como muestra la figura 1-8.

Los iones absorbidos en el plasma celular también hidratan o deshidratan al mismo. Por eso, los iones monovalentes, con una muy grande capacidad de hidratación, son tenidos como "hidratantes", mientras que los bi y trivalentes, como calcio y aluminio, con su cantidad de hidratación reducida, son tenidos como deshidratantes (26). Tanto una hidratación excesiva como una deshidratación pronunciada del plasma vegetal, es perjudicial. Sólo el equilibrio de los iones mono y bi o trivalentes hace que el plasma celular de la raíz pueda alcanzar una hidratación óptima (21). Por eso existen hoy trabajos que no indican más el tenor absoluto del aluminio soluble en el suelo y sí los porcentajes de saturación del complejo de cambio (ver capítulo 2).

Esta es la razón por la que cualquier ion en solución monosalina, es decir aisladamente, tiene efecto negativo sobre el crecimiento vegetal. Así el potasio necesita de calcio para ser equilibrado (24), y muchos investigadores no trabajan más con niveles de un nutriente en la planta y sí con proporciones características para cada especie (40), aunque en niveles diferentes. De esta forma la proporción K/Ca siempre es de 8 a 10 en el arroz. Pero existen variedades con 1,2 % de K y 0,15 % de Ca, y otra con 2,5 % de K y 0,31 % de Ca. Los niveles son diferentes, las proporciones son iguales. Y existen trabajos más adelantados que indican que muchas plantas de cultivo poseen proporciones semejantes (50) de modo que las firmas químicas producen fertilizantes foliares con la misma proporción de nutrientes para distintos cultivos.

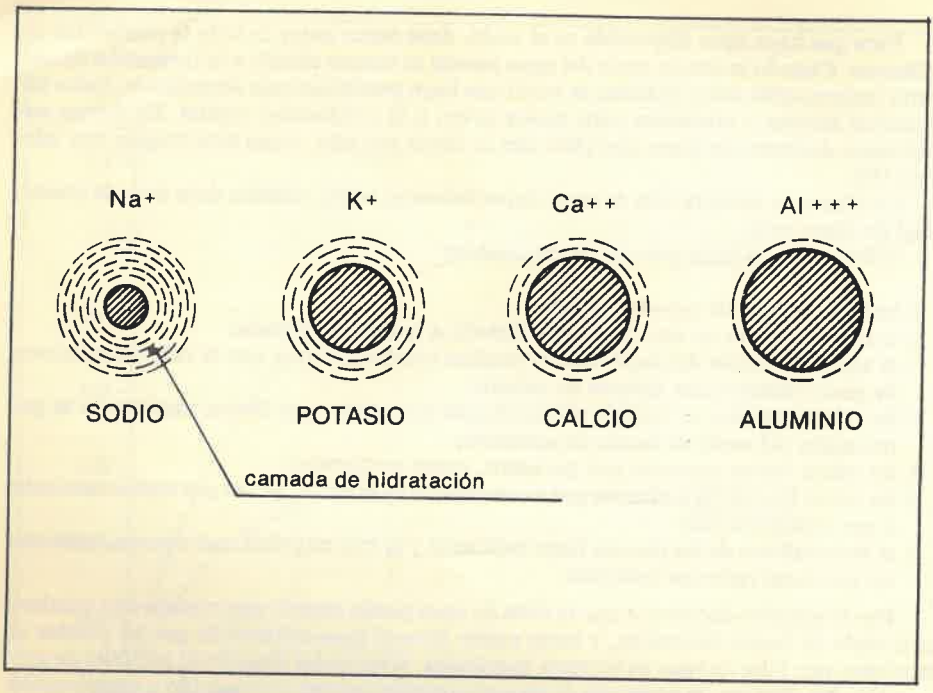


Fig. 1.8 *Hidratación de algunos iones.*

La mayoría de los suelos tropicales tienen suficiente potasio (K) e igualmente considerable cantidad de aluminio (Al). Cuando predomina este último, es altamente perjudicial a la planta, deshidratando el plasma, causando la conocida "plasmólisis" en las células radiculares, imposibilitando la absorción de suficiente agua y nutrientes. Sin embargo, cuando sólo una pequeña parte de los cationes mudables fuere aluminio, éste raramente provoca un efecto perjudicial en cultivos tropicales. Y una de las excepciones es la cebada, que no es cultivo tropical.

Por otra parte, cada agricultor dedicado a soja sabe que un campo que recibió un encalado elevado con el fin de corregir el pH, sufre sequía mucho antes que los campos con un encalado menor. Esto no sucede a causa de una granulación mejor del suelo, que provoca una aireación más intensa, como se suponía, sino debido al aumento de presión osmótica del suelo (33).

Lo importante no es una cantidad grande de un nutriente, sino el equilibrio entre todos los nutrientes.

Como enseña la práctica de campo, tanto en suelos con un encalado intensivo, como en suelos con tenores elevados de aluminio, puede acontecer una "sequía fisiológica" en las plantas, que muestran todos los signos de sequía antes de que éstos aparezcan en otros campos.

CONSUMO DE AGUA POR LAS PLANTAS

La falta de agua ocurre tanto por la absorción deficiente como por el consumo excesivo. La cantidad de agua consumida por una planta varía mucho según su nutrición, la especie y la incidencia del viento (39, 43) (ver capítulo 9).

Cuadro 1.4 *Coeficiente de transpiración, en litros de agua consumidos por kg de sustancia seca formada (***Römer,** *1953)*

sorgo	277	avena	583
maíz	349	centeno	634
trigo	491	trébol rojo	698
cebada	527	lino	783
papa	575	alfalfa	844

Cada autor indica cantidades diferentes de agua utilizadas para formar un kg de sustancia seca, según el lugar de ensayo y la nutrición del cultivo.

Cuadro 1.5 *Efecto de la fertilización sobre el consumo de agua por kg de sustancia seca (***Klapp,** *1967)*

Cultivo	*Sin fertilización*	*Con fertilización*
trigo	928	349
centeno	604	364
papa	1.317	638
forrajeras	1.586	637

Vemos que el gasto de agua es más elevado en plantas mal nutridas. Así, la papa en suelo pobre consume más del doble de agua que en tierra fertilizada, y las forrajeras gastan casi el triple. Por lo tanto se verifica que el uso económico de agua por la planta se produce sólo cuando ésta está bien nutrida. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la planta puede estar bien nutrida, ya sea en un suelo fertilizado junto a la semilla o bien en un suelo más pobre pero con la posibilidad de expansión, explorando un volumen grande del mismo con sus raíces.

La diferencia de datos sobre el agua consumida por la planta hace dudar del valor de las investigaciones que trabajan con pocos factores. Sin embargo, pueden darnos una indicación sobre el manejo más económico del agua del suelo.

El consumo de agua también es diferente según el lugar y su clima. Así se reúnen los siguientes datos (43) referentes al cultivo de trigo fertilizado, variando la indicación de agua consumida según el autor, o mejor dicho, la estación experimental:

Hellriegel	338
Schröder	390
Tulaïkow	415
Sorauer	450
Schantz	491

la diferencia es de un 32 %, y esto en una planta conocida por el consumo reducido de agua. El cultivo de trigo es considerado propio de regiones semiáridas, con 300 a 400 mm de precipitaciones anuales. En los cultivos que necesitan mayor cantidad de agua, como por ejemplo la papa, la diferencia se hace más marcada, llegando hasta 229 %. Lo mismo vale para las forrajeras.

Un cultivo sin condiciones de metabolización rápida puede gastar más del doble de agua que la que necesitaría en condiciones nutricionales óptimas. Sin duda, es un problema grave, ya que podrá insinuar la necesidad de irrigación, cuando ésta todavía podría ser evitada, con una mejor nutrición del cultivo y con la disminución de la incidencia del viento (9, 44). El rendimiento podría ser dos a tres veces mayor, con idéntica disponibilidad de agua pero con un consumo más económico.

En zonas subhúmedas o semiáridas es importante:

1. elegir cultivos que posean mayor índice de producción por unidad de agua;
2. nutrir las plantas de manera que gasten el mínimo de agua. En la mayor parte de los cultivos una buena nutrición incluye, junto con los fertilizantes y el encalado, una estructura granular del suelo con la posibilidad de un mejor enraizamiento en el mismo;
3. proteger el cultivo de una transpiración excesiva, bajando la incidencia del viento mediante la instalación de "corta-vientos".

Aquí surge un problema: ¿es económico realizar un cultivo aun cuando las técnicas exigidas lo vuelven tan costoso que, a pesar de una buena cosecha, no da lucros? Este caso, aparentemente, no es muy raro, puesto que una buena cosecha puede producir tal entusiasmo por continuar cultivando, que se olvida el costo de la tecnología empleada para poder producir esa cosecha. En caso contrario, los créditos bancarios no serían tan cruciales para la agricultura. No es extraño que un agricultor declare: "utilicé todas las técnicas modernas, obtuve buenas cosechas y, aun así, no logro salir de mis deudas".

La tecnología moderna no garantiza el lucro si el cultivo estuviera mal elegido. Por eso es importante realizar los cultivos por zonas y elegir correctamente la tierra donde se pretende plantar.

La nutrición del vegetal y el consumo de agua

Las plantas bien provistas de potasio transpiran menos (27) y cuando tienen a su disposición cantidades suficientes de manganeso, cinc, cobre y boro (39), su plasma se vuelve más viscoso y consumen agua en forma más económica. Vale por lo tanto la regla:

Planta mal nutrida consume más agua.

Que la planta esté bien o mal alimentada no depende sólo de los elementos mayores. La planta está bien nutrida cuando tiene a su disposición todos los nutrientes que necesita para formar las sustancias propias a su especie y a su variedad. Se debe distinguir claramente entre la capacidad de absorción de la raíz, propia de la variedad, y la proporción de elementos nutritivos de la planta, que no varía dentro de la especie, y hasta puede ser semejante en especies distintas. Este aspecto resalta la importancia de la raíz y de sus propiedades diferentes.

Es fundamental que la metabolización de los elementos nutritivos sea lo más rápida posible, y que su transporte dentro de la planta esté garantido.

Así la cantidad de micronutrientes que cada planta y variedad precisa encontrar en el suelo, varía. El maíz sufre fácilmente por deficiencia de boro, cinc y cobre; el trigo, por manganeso y cobre; el café, por boro, cinc y manganeso; el tabaco, por cobre y boro, etc. Existen innumerables libros que tratan sobre las deficiencias minerales en los vegetales (ver capítulo 8).

Como ya fue tratado anteriormente, la nutrición de la planta no depende sólo de una fertilización completa, sino, además, del espacio en el suelo que la raíz puede explorar. Así, un suelo "pobre" es capaz de producir la *hileia* o selva amazónica, con sus frondosos árboles de hasta 3 m de diámetro. Parece ser que la "pobreza" del suelo depende no solamente del volumen del suelo explorado, que puede estar restringido por capas densas, sino también del potencial de la raíz de movilizar nutrientes de formas consideradas como no disponibles en los análisis de rutina.

La compactación del suelo es, sin embargo, un impedimento decisivo en el abastecimiento de agua, por confinar las raíces a capas muy superficiales (ver capítulo 2).

Las condiciones de desarrollo de una planta van empeorando a medida que el suelo va compactándose y formando costras, debido al deterioro de su estructura grumosa (migajosa).

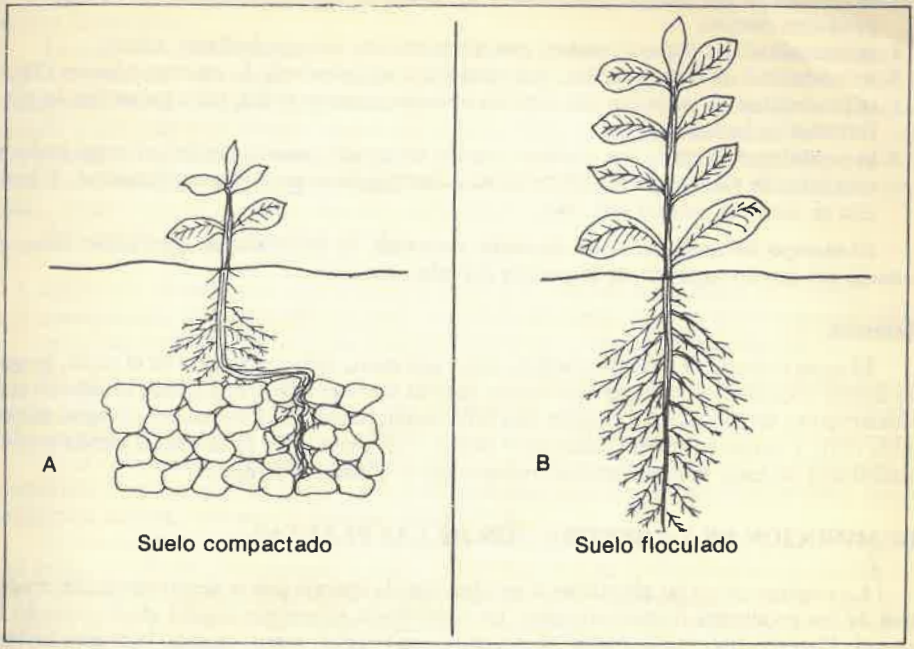


Fig. 1.9 *Enraizamiento en suelos compactado y grumoso (migajoso). El volumen de suelo explorado es diferente.*

En la figura 1-9 está esquematizado este problema. En suelos con capas densas a escasa profundidad, lo que es frecuente en tierras de cultivo, la raíz sólo se desarrolla bien en la parte grumosa superior (cuadro A). Cerca de la superficie no desarrolla radículas, por la falta de agua y la imposibilidad de absorber nutrientes. En el cuadro B se observa que la raíz consigue desarrollarse libremente al no existir compactación. El mayor volumen explorado por la raíz proporciona al mismo tiempo más agua y más nutrientes. Y la planta mejor nutrida transpira menos.

La cantidad de agua disponible no depende solamente de la lluvia y de la temperatura, encontrando su expresión en la evapotranspiración, que sólo indica la proporción de precipitaciones y su pérdida por evaporación y transpiración, debido a la temperatura. Pero no da cuenta del agua que nunca se infiltró en el suelo y que, por lo tanto, tampoco está disponible para las plantas. De modo que no es importante saber cuánta lluvia cayó, sino cuánta se infiltró y cuánta fue capaz de almacenar el suelo. ¡El agua que escurre, aumentando el volumen de los ríos, no es agua productiva!

El consumo de agua del suelo no depende solamente de la especie y de la temperatura ambiental, sino también de la nutrición vegetal, ya que las plantas de una misma zona, con idéntica cantidad de lluvia e idéntica temperatura, pueden producir rendimientos diferentes hasta en un 400 %, según la estructura del suelo y la nutrición (22).

El consumo de agua por la planta depende de:

1. la adaptación al ambiente en que crece;
2. la humedad relativa del aire, que será más baja donde hubiere mayor incidencia del viento;

3. la frecuencia del viento. Las plantas expuestas al viento transpiran más agua, pero producen menos;
4. la viscosidad del plasma celular, que aumenta con un metabolismo activo;
5. la intensidad de transpiración, que disminuye en presencia de micronutrientes (39);
6. la posibilidad de mantener los estomas abiertos durante el día, para garantizar la continuidad de la fotosíntesis;
7. la posibilidad de cerrar los estomas cuando las condiciones se tornan adversas (calor y una brisa de viento constante), a fin de evitar pérdidas excesivas de humedad. Y para ello se necesita potasio (16, 34).

El manejo del agua del suelo depende, entonces, de la pericia del agricultor, como el manejo del dinero depende de la pericia del administrador.

Resumen

El agua disponible para las plantas, antes que nada, debe infiltrarse en el suelo, lo que no ocurre en suelos cuya superficie forma costras con facilidad. Los suelos grumosos con bioestructura estable al agua poseen una infiltración mayor (32), retienen más agua disponible (49), y permiten un enraizamiento mejor. Las plantas en estos suelos tienen mayor posibilidad de estar mejor nutridas, reduciendo el consumo de agua.

DISMINUCION DE LA RESPIRACION DE LAS PLANTAS

La respiración de las plantas es la producción de energía por la descomposición oxidativa de los productos fotosintetizados. La respiración solamente tendrá efecto cuando la energía liberada fuere utilizada en el metabolismo vegetal, o sea, cuando la planta tuviere algo para metabolizar.

A temperaturas elevadas, la aceleración de la respiración puede significar mayor producción si la fotosíntesis y la absorción de agua y nutrientes son capaces de acompañarla. El metabolismo comprende tanto el anabolismo, que es la formación de sustancias, como el catabolismo, que es la descomposición de sustancias existentes. Si no hay más productos de la fotosíntesis para descomponer, la planta catabolizará sus propias sustancias, como las proteínas. Sobre esta base actúan muchos herbicidas hormonales, acelerando la respiración de tal manera que el vegetal "crece para morir".

Pero la planta tropical, además de la respiración acelerada, muchas veces posee la propiedad de poder fotosintetizar más, a través de un camino diferente de metabolización (C-4), de modo que sería capaz de producir mucho. Pero para que esta producción se realice son exigidas tres condiciones:

1. que el metabolismo no esté demasiado acelerado; el óptimo se produce a 25° C (ver figura 1-6);
2. que haya lo suficiente para sintetizar, es decir, la planta debe estar bien abastecida de agua, CO_2 y nutrientes;
3. que los productos puedan ser metabolizados hasta su etapa final, o sea, que no permanezcan como aminoácidos, sino que formen proteínas, y que no permanezcan en forma de azúcares simples, sino que constituyan almidones, celulosa, etc.

La respiración de la planta aumenta cuando:

a. la temperatura sube mucho debido a una insolación intensa;
b. falta agua en el suelo o su absorción es difícil;
c. la planta está mal nutrida;
d. la raíz ha sido herida por herramientas agrícolas o parásitos;
e. el suelo está en condiciones anaeróbicas por inundación o por compactación (Fuente: **Müller**, 1973);
f. existen fenoles en el suelo como resultado de la humificación.

Hay, por lo tanto, muchas posibilidades de controlar la respiración, manteniéndola en niveles favorables.

La temperatura tropical parece ser el problema mayor. Sin embargo existen, ante todo, "termostatos" naturales, los bosques, que generan en la Amazonia condiciones extremadamente favorables para la producción vegetal. Un paisaje con 40 % de la superficie forestada u ocupada por árboles, raramente tendrá temperaturas superiores a los 30° C, como prueba la región amazónica. También diques y represas no muy distanciados, impiden el aumento excesivo de la temperatura. Pero no solamente la temperatura del aire es importante, la del suelo es, a veces, aún más decisiva.

Esta puede ser mantenida a 24° C:

1. cubriendo el suelo con una cobertura muerta o con una capa densa de vegetal;
2. consiguiendo el sombreado del suelo mediante un menor espacio entre el propio cultivo y una fertilización dirigida, que provocará un crecimiento más rápido (3).

En el clima templado se evitan los cultivos asociados porque pesan en el balance de agua. Allí, el agua se evapora solamente por transpiración y el suelo se seca por la absorción radicular (3). Cuanta más masa foliar exista, tanta más agua será consumida del suelo.

En el clima tropical el agua transpirada por los cultivos, muchas veces es menor que la evaporada directamente del suelo. Esto se debe al calentamiento excesivo del mismo, por la insolación directa, que puede alcanzar hasta 75° C.

El sistema de *dry-farming* y el de la separación mayor entre los cultivos, usados en zonas áridas templadas, difícilmente sirvan en los trópicos. Con el *dry-farming* se mantiene el suelo ausente de vegetación durante un año, para permitir el almacenamiento de agua proveniente de las escasas lluvias de un año. Como las lluvias en estas regiones son suaves, se infiltran, y como el máximo de calentamiento llega a 20° C, el agua no se pierde por evaporación. Esta penetra de hecho en el suelo, percola el perfil y es almacenada. El próximo cultivo dispondrá de humedad por dos años. Por la misma razón se propicia un mayor espacio entre las plantas, para que cada una reciba el máximo de humedad.

En los trópicos, la situación no es igual. Un suelo sin vegetación invariablemente tendrá su superficie con costras (ver capítulo 2), debido a las lluvias escasas pero torrenciales y la erosión y el escurrimiento del agua serán aún más catastróficos de lo que son en terrenos cubiertos por vegetación. Los cultivos más espaciados permiten que se evapore más agua del suelo que en los cultivos más densos; estos últimos sombrean el suelo, evitando su calentamiento (22). El *dry-farming* y un mayor espaciamiento para ahorrar agua, son técnicas poco convenientes en las zonas tropicales.

Una menor separación o un "stand" más denso, no solamente tiene la ventaja de sombrear el suelo, sino que permite el sombreado mutuo de las plantas de cultivo, bajando así el índice de respiración.

Los "cortavientos", es decir, hileras de árboles que disminuyen la velocidad del viento, también contribuyen a mantener los suelos más frescos (ver capítulo 9). Según **Ekern** (1964), en Hawaii la humedad del suelo aumenta por la acción de los cortavientos, en lo que equivale a 750 mm de lluvia (1 mm de lluvia equivale a 10 t/ha de agua).

El escardado

El método de mantener completamente limpios los campos de maíz, algodón, café, etc., incrementa la respiración porque aumenta la insolación del suelo, causando un mayor calentamiento del mismo. Hiere, además, las raíces, lo que también contribuye al aumento de la respiración. No es raro observar, luego del escardado, una paralización del crecimiento de las plantas por algunos días, y que los agricultores atribuyen al hecho de haber "aflojado" las plantas. Pero también puede ser la razón que **Müller** (1973) menciona: la raíz lastimada incentiva la respiración. Esta, en días calurosos, gasta todo lo que fue fotosintetizado, no dejando nada para el crecimiento. También es justamente éste uno de los puntos fa-

vorables a los herbicidas, que pueden aumentar la producción en un 30 % al evitar estos períodos de detención.

Escardar o roturar la tierra de un cultivo nuevo da óptimos resultados en épocas frías, cuando se pretende activar la respiración vegetal. Pasar un roturador de dientes articulados sobre el trigo aumenta la producción en clima frío y la disminuye en clima cálido.

Vemos así que una técnica da resultados absolutamente contrarios según la temperatura reinante.

Cuando se emplee una técnica, no se preguntará cuál fue el resultado obtenido en otro lugar, sino por qué fue utilizada. El simple hecho de aumentar el rendimiento no es razón para ser empleada. ¿Por qué aumentó el rendimiento en aquella zona? Si fue debido al incremento de la respiración, entonces no sirve para zonas tropicales donde el problema es el contrario: contener la respiración de las plantas, que fácilmente se hace excesiva.

Los parásitos

No sólo la lesión de la raíz, causada por herramientas agrícolas, es perjudicial, lo mismo ocurre cuando ésta es atacada por nematodes, insectos o microorganismos. Cualquier ataque a la raíz y cualquier herida, causan un aumento de la respiración. En el caso de los parásitos, se suma también la dificultad de absorber agua y nutrientes, lo que a su vez también aumenta la respiración (34). Todos conocen las plantas marchitas, atacadas por nematodes: la muerte de la planta por deficiencia de agua y exceso de respiración es inminente.

La salud radicular es uno de los puntos más importantes en las zonas tropicales. Y, para obtenerla, prácticamente existen sólo tres caminos: la rotación de los cultivos, la restitución periódica de materia orgánica (ver capítulo 4), y la fertilización foliar dirigida. La nutrición completa de la planta parece ser tan obvia que no se menciona por separado.

Nutrición y respiración vegetal

Si la planta está mal nutrida, respirará más intensamente (11). Esta nutrición vegetal no se limita a NPK, sino que incluye además magnesio, azufre, calcio, manganeso, boro, cinc, cobre, molibdeno, hierro y otros elementos nutritivos.

Surge otro problema: la planta debe estar bien nutrida pero no soporta grandes concentraciones de iones en el suelo. Tanto los suelos salinos como las fertilizaciones masivas en el surco, especialmente en suelos compactados, provocan esta concentración indeseable. Por lo tanto, la buena intención de alimentar mejor la planta puede provocar una aceleración de la respiración y bajar el rendimiento agrícola o, por lo menos, impedir que el aumento sea semejante al del clima templado (ver cuadro 9-46).

En regiones donde abundan los "veranicos", la fertilización del suelo compactado debe ser evitada. La fertilización al voleo, a veces, es más ventajosa para evitar concentraciones elevadas en la solución del suelo.

La falta de oxígeno en el suelo

Los suelos en condiciones anaeróbicas de la misma manera aumentan la respiración, ya sea que la deficiencia de oxígeno exista por causa de costras superficiales y/o compactaciones profundas, como por causa de inundación o encharcamiento (26, 27). El resultado es siempre el mismo: por falta de oxígeno la planta inicia la respiración fermentativa. Y, como en este proceso se produce muy poca energía, la respiración se acelera para poder movilizar más energía. El consumo de productos fotosintetizados es elevado sin que sea compensada la energía liberada. El desarrollo vegetal está reducido por tener pocos productos fotosintetizados para metabolizar y todos los procesos de síntesis son lentos, de modo que raramente llega a la formación de proteínas y carbohidratos más complejos, permaneciendo muchos aminoácidos libres en la planta (12, 33).

En suelos compactados, la raíz no puede expandirse, sufriendo la planta fácilmente la falta de agua y nutrientes y, si es fertilizada, consigue aprovechar muy poco, como se de-

muestra en la figura 2-25. Todos conocemos las plantas raquíticas de las márgenes de los campos, donde las máquinas maniobran, o de los desniveles o pendientes, donde la tierra grumosa ha sido barrida y sólo queda el subsuelo compactado.

Por lo tanto, el suelo compacto o denso disminuye el desarrollo del vegetal, debido al metabolismo poco eficiente y a la respiración fermentativa (34).

Los fenoles como activadores de la respiración

El valor del humus, para el clima templado, reside en la producción de sustancias respiratorias y en el mejoramiento de la estructura del suelo. En los trópicos, se necesita desesperadamente mejorar la estructura de los suelos de cultivo (ver capítulos 2, 7 y 9), pero no se desea obtener fenoles.

Los fenoles se forman en la humificación de ligninas por la acción de hongos. La incorporación de materia orgánica al suelo, siempre propicia la aparición de hongos. La primera fase de descomposición de la materia orgánica seca (celulosa y lignina) como paja u hojas secas, siempre es realizada por hongos, aun cuando permanezca en la superficie del suelo. Pero en clima cálido, una vez rotos los anillos estructurales de la celulosa y la lignina por hongos, la segunda fase es producida por bacterias.

La incorporación profunda de la materia orgánica reduce su efecto sobre la estructura y lo aumenta sobre la respiración vegetal, como muestra el cuadro 9-25 y será tratado en los capítulos 4, 6 y 7. Cuando los hongos predominan en la descomposición, lo que ocurre en suelos más ácidos de pH 5,5, es más probable la formación de fenoles.

Existen muchas posibilidades de disminuir la respiración muy activa y a veces excesiva, en clima tropical (12).

Resumen

El equilibrio óptimo entre fotosíntesis y respiración, necesario para una buena producción vegetal, puede ser establecido y mantenido en clima tropical, posibilitando una producción semejante a la de suelos vírgenes, nunca utilizados anteriormente. Pero es necesario:

1. la recuperación y manutención de una bioestructura grumosa del suelo;
2. fertilización mineral módica y equilibrada;
3. sombreado del suelo por una cobertura muerta o por una capa vegetal densa;
4. salud radicular;
5. el restablecimiento de áreas suficientemente grandes, reforestadas, diques y cortavientos, para estabilizar la temperatura de la zona;
6. sombreado parcial de los cultivos en la zona ecuatorial.

El equilibrio fotosíntesis-respiración es la base de toda producción vegetal, tanto en los trópicos como en clima templado.

Todas las técnicas agrícolas en clima tropical deben tender a la disminución de la respiración, y al mismo tiempo, tornarla lo más eficiente posible, produciendo el máximo de energía para el metabolismo vegetal, con un mínimo de consumo de glucosa. Cada molécula de glucosa utilizada para producir energía, faltará después para la producción de sustancias vegetales.

El problema de la agricultura tropical es la indiferencia al funcionamiento de la respiración, activa pero ineficiente, y el uso de técnicas especializadas que no están conscientemente encaminadas hacia el problema principal de la producción vegetal.

Debe tenerse en cuenta que cada técnica agrícola es producto del medio ambiente, un "ecotipo", debiendo adaptarse a las condiciones de un lugar, tentando crear la situación más favorable para los cultivos en ese ambiente. La técnica agrícola que logra una buena recompensa es el producto de los factores ambientales, como muestra la figura **1-10.**

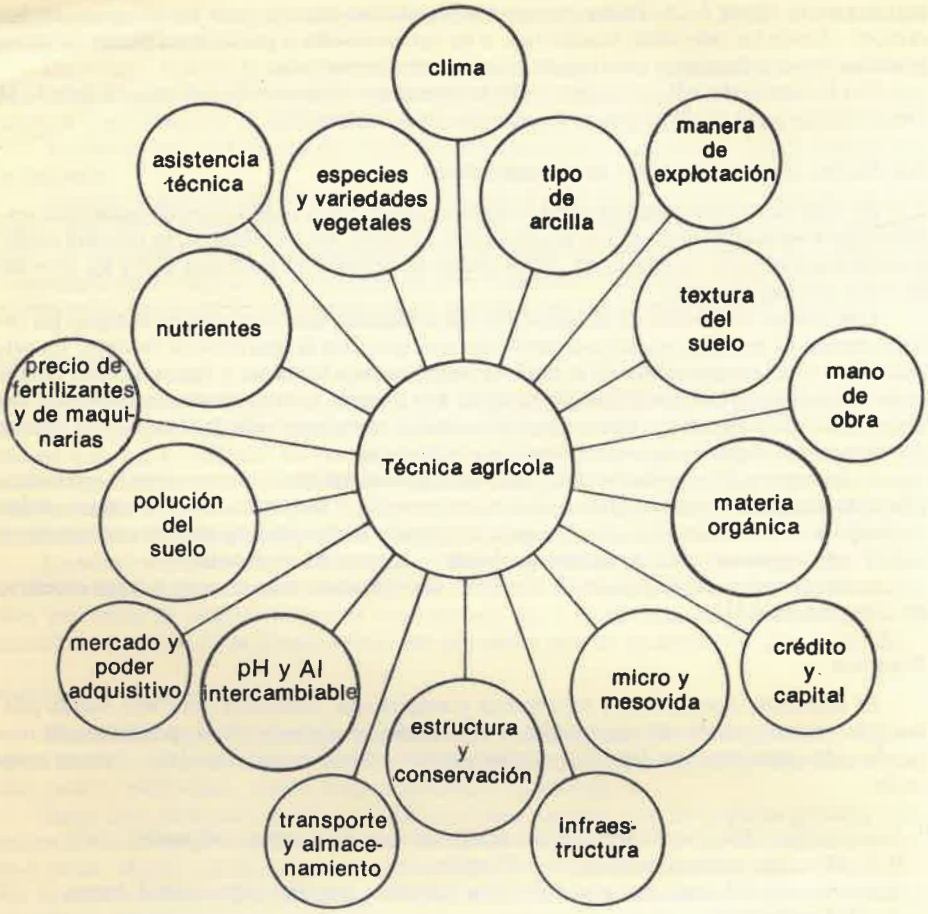


Fig. 1.10 *Factores que influyen en la formación de la tecnología agrícola de una región.*

Cada técnica depende de muchos factores específicos y, por lo tanto, no puede ser directamente transferida. Ningún lugar del territorio brasileño se asemeja a los lugares donde la técnica agrícola fue desarrollada. Y muchas veces estas técnicas apuntan hacia lo contrario de lo que necesitamos. La remoción del suelo tiende a su calentamiento y secado después del invierno; las rastras, además de combatir las plantas invasoras, hacen que aumente la respiración como consecuencia de las lesiones en las raíces; la fertilización verde no solamente debe suministrar nitrógeno, sino especialmente incentivar una microvida muy activa, etc., como será explicado en los próximos capítulos. Las técnicas de clima templado tratan de neutralizar las condiciones desfavorables existentes, como suelo frío, respiración baja y microvida poco activa. En el clima tropical los problemas cruciales son: suelos muy calientes y secos al finalizar la estación seca, una microvida demasiado activa, una respiración vegetal muy acelerada y una estructura grumosa sin recuperación natural, ya que no existe invierno que traiga la capa de nieve recuperadora. En clima tropical, la recuperación del suelo ocurre, parcialmente, durante el reposo forzado de la sequía, pero la bioestructura no se recobra, a no ser durante los años de reposo y abandono de la tierra sin plantar.

Los problemas de la producción vegetal en clima tropical son muy diferentes a los de los climas templados, y deben ser resueltos con técnicas apropiadas, que satisfagan las necesidades de la producción en clima cálido.

EL OXIGENO DEL SUELO

Todos los indicios dejan suponer que la producción vegetal en los trópicos podría ser muy superior a la de clima templado, puesto que es mucho mayor la liberación de energía en esas latitudes. Pero todo depende de que las técnicas agrícolas sean adaptadas a las necesidades vegetales de los trópicos (ver figura 1-1).

Cuando la raíz encuentra oxígeno suficiente en el suelo, se lleva a cabo la respiración aeróbica, como muestra la figura 1-1. Por cada Mol de glucosa descompuesta, la planta gana 673 calorías. Como la descomposición, en la mayoría de los casos, es un proceso oxidativo (como se verá en el capítulo 4), es indispensable la presencia de oxígeno. Si éste falta, la planta recurre a la respiración anaeróbica o fermentativa, como recurso para sobrevivir. Sin embargo, la ganancia de calorías en estos procesos es de sólo 21 a 22 calorías por Mol de glucosa, lo que representa 1/30 de las que podría obtener en condiciones óptimas. El metabolismo, que necesita energía, está sensiblemente desacelerado (33, 34). La planta recibe este oxígeno, necesario para la respiración, a través de la raíz (11). Son pocas las excepciones que consiguen captar este oxígeno por las hojas y transferirlo a la raíz, como por ejemplo el arroz, capim-arroz, juncos y similares. Estas plantas poseen una "aerénquima", es decir, un sistema de ventilación a través del cual transportan el oxígeno del aire, captado por las hojas, a las raíces, posibilitando así que las plantas puedan vivir en suelos anegados.

Esta es la razón por la cual la mayoría de las plantas necesitan un suelo suficientemente aireado. Cuando el suelo es irrigado, las compactaciones, como barrera física, pueden perder su importancia. La irrigación no consigue suministrar el oxígeno deficiente. Por lo tanto, la producción de algodón, maíz, etc., nunca será satisfactoria en suelos compactos irrigados, por faltar energía para su metabolismo.

La cantidad óptima de oxígeno exigido en el suelo varía según la planta y el clima. Cuanto mayor es la temperatura, tanto menos oxígeno se disuelve en el agua del suelo, y tanto mayor debe ser el contenido de aire en la tierra, para poder satisfacer las exigencias vegetales. En las regiones tropicales, con sus temperaturas elevadas, la cantidad de O_2 en el suelo probablemente deberá ser mayor que en el clima templado, como se puede verificar en la figura 1-11.

La falta de oxígeno (O_2) ocurre cuando:

1. el suelo es compacto o denso, con sus macroporos reducidos, permitiendo una circulación deficiente de aire;
2. el suelo se calienta mucho debido a una insolación directa;
3. los microorganismos tienen una actividad incentivada por una descomposición de materia orgánica verde, o de paja con nitrógeno adicionado, o si un suelo seco es humedecido nuevamente.

Los microorganismos consumen oxígeno liberando CO_2, con el que saturan el aire del suelo.

Todas las técnicas que aumentan la necesidad de oxígeno en el suelo, deben ser consideradas aparentemente con cautela, inclusive los abonos verdes, tan usados en las regiones templadas. Un mayor espacio entre las plantas de cultivo y un suelo "limpio", escardado o tratado con herbicidas, expuesto al sol, también incrementa la necesidad de oxígeno como consecuencia de su calentamiento.

El escardado o el uso de herbicidas no sólo debería lograr eliminar las plantas indeseables, llamadas simplemente "malezas o yuyos", sino que deben ser cautelosamente utilizados para evitar que un calentamiento fuerte del suelo aumente la necesidad de oxígeno en

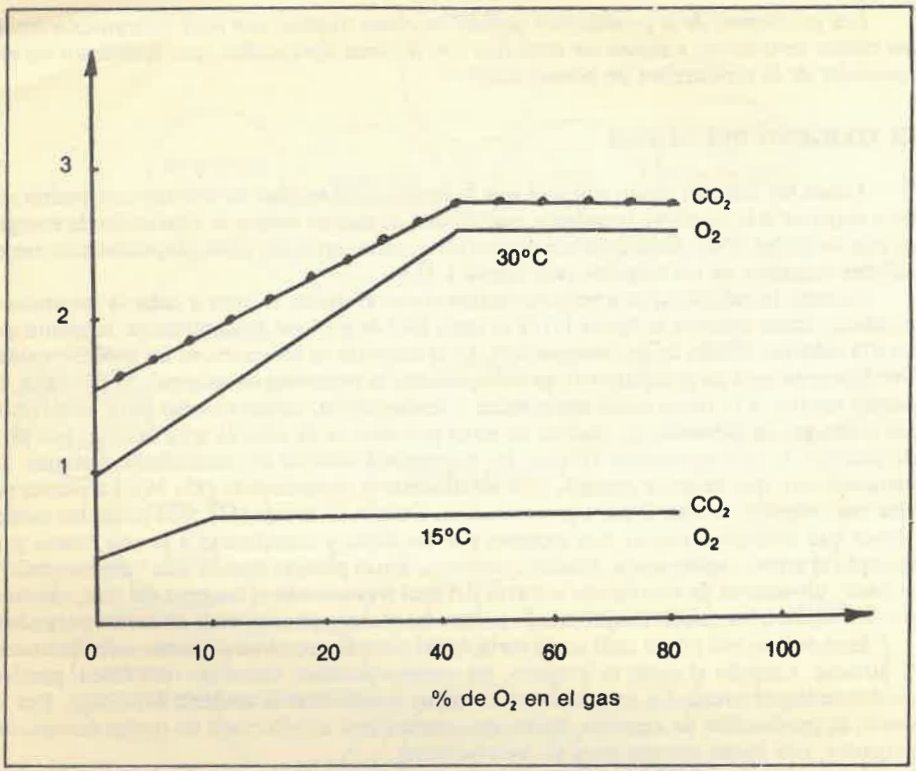


Fig. 1.11 *Consumo de oxígeno y producción de CO_2 por la raíz de cebolla a 15° C y 30° C de temperatura (***Berri, *1949).*

el cultivo. Por lo tanto, el espacio no puede ser dictado por el tamaño de las máquinas que deben transitar entre las líneas de surcos, sino por la necesidad de protección del suelo. Las pulverizaciones podrían realizarse, en el futuro, por medio de la aviación agrícola.

La densidad o compactación del suelo es otro factor limitante de oxígeno, por disminuir radicalmente el espacio poroso por donde circula el aire, o sea, los macroporos (8, 32). Existen plantas que crecen bien en suelos que han perdido su bioestructura, como por ejemplo, el "capim-seda" o "gramilla rastrera" (*Cynodon dactylon*), el "capim-pé de galinha"* (*Eleuzine tristachia*), la guanxuma** (*Sida spp*) y otras.

Cabe mencionar que en Sta. Catarina, antes de abandonar el suelo, decaído por los cultivos de trigo y maíz, se acostumbra a plantar arroz, por soportar mejor suelos compactados, anaeróbicos, dado que la raíz se puede oxigenar a través de la hoja. En los cerrados, la planta pionera en suelos brutos también es el arroz, probablemente por la misma razón.

Una fertilización en suelos compactados o densos, rara vez mejorará la situación del cultivo, porque no supera la dificultad creada por la deficiencia de oxígeno.

En suelo mal aireado, con bajo tenor de oxígeno, las raíces excretan alcohol etílico cuando la parte aérea es cortada. Y cuando se trata de suelos mal drenados, pueden for-

*Capim-pé de galinha, también llamado en Brasil capim-de-burro. *(N.T.)*

**Guanxuma (o guaxima), planta malvácea de fibras textiles, y con propiedades medicinales. *(N.T.)*

marse aldehídos salicílicos, tóxicos para muchas plantas en concentraciones de 40 ppm (41a), aumentando aún más el efecto desfavorable de la anaerobiosis.

Los suelos tropicales productivos deben ser grumosos, permitiendo una aireación adecuada de la raíz, con un contenido del 10 %, como mínimo de oxígeno en el aire del suelo.

La bioestructura "fofa" del suelo tropical es importante para la absorción de agua y de nutrientes y para una metabolización eficaz. No se puede esperar una producción elevada sin las adecuadas condiciones biofísicas del suelo.

La cantidad de oxígeno en el suelo está siendo investigada desde hace tiempo en los EE.UU. y, especialmente, en Inglaterra. Existen aparatos apropiados para medir la óxido-reducción (r) del suelo. Y, como ésta depende a su vez del pH reinante, es posible medir la óxido-reducción a un pH determinado (rH). Con todo, se trata de un factor empírico que depende de la especie de planta y de la capacidad de la misma de soportar determinado rH (41b).

Por lo tanto, actualmente se determina el *potencial bioeléctrico* de la raíz, que es el producto de la respiración anaerobia y de la actividad metabólica de la planta en un suelo determinado (34).

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA METABOLIZACION RAPIDA EN LA PLANTA

Antiguamente se creía que bastaba con que la planta absorbiese un nutriente por la raíz o por la hoja, para que este nutriente se transformara, obligadamente, en sustancias

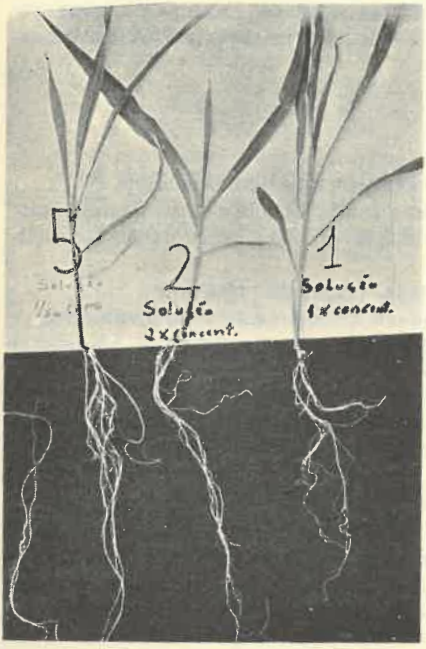


Fig. 1.12 *Maíz nutrido con una solución de concentración normal, dos veces concentrada y cincuenta veces diluida*

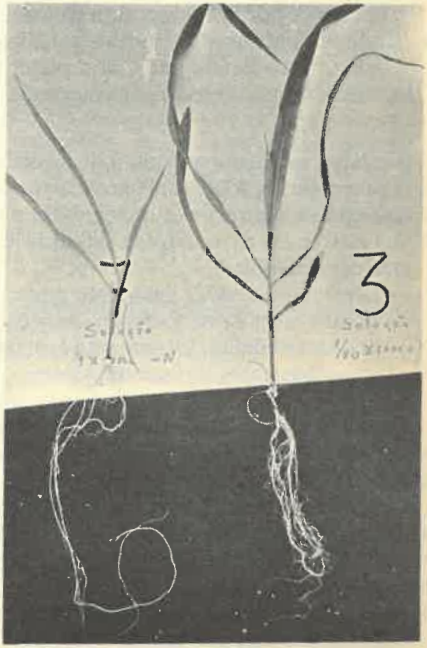


Fig. 1.13 *Desarrollo de maíz nutrido con una solución de concentración normal, pero omitiendo nitrógeno (izq.), al lado de maíz nutrido con una solución normal 50 veces diluida*

vegetales como carbohidratos, proteínas, vitaminas y otras. Pero **Liebig** (1843) descubrió que esto no era cierto y estableció la "ley del mínimo", diciendo que el nutriente deficiente impedía toda la producción.

La importancia del equilibrio mineral es fácil de reconocer, como se muestra en la figura 1-12. Es posible nutrir normalmente una planta con una solución nutritiva común, pero 50 veces más diluida, si ésta se renueva con frecuencia. Pero cuando se omite un nutriente, como el caso de nitrógeno, en una solución de concentración normal, el desarrollo vegetal se ve drásticamente reducido, como muestra la figura 1-13.

Se puede verificar que la planta compensa la pobreza de la solución nutritiva, 50 veces diluida, con un crecimiento radicular mayor. **Homes**, que se preocupó con este asunto, decía que las plantas necesitan un cierto equilibrio entre los cationes, como calcio, potasio y magnesio, que funcionan como catalizadores de absorción, y aniones, como fósforo, azufre, nitrógeno nítrico y otros que toman parte en la formación de sustancias orgánicas (ver capítulo 8).

Actualmente se sabe que no se metaboliza nada de nitrógeno cuando falta fósforo, y muchas veces los aminoácidos continúan circulando por la planta sin poder formar proteínas, cuando falta azufre. También se sabe que los carbohidratos no son transportados a la raíz cuando falta boro, y los subproductos tóxicos del metabolismo, como H_2O_2, no son eliminados cuando falta cobre, por no ser posible formar la enzima catalizadora.

Sin fósforo no hay metabolismo por no haber transferencia de energía; ésta es la razón por la que el efecto del fósforo en los suelos brasileños es tan pronunciado.

La planta no forma, obligatoriamente, sustancias vegetales y los nutrientes pueden circular con un índice elevado en la savia sin ser metabolizados. Solamente se forman sustancias orgánicas cuando *todo* lo que es necesario existe en la célula.

Sin ninguna duda, la absorción de los nutrientes es importante, pero es sólo el primer paso. Toda la "industrialización" ocurre después. Y sólo ocurrirá si tuviere los instrumentos a mano y si no faltare nada para poder producir.

El metabolismo depende, entonces, de:

1. que haya suficiente energía a disposición;
2. la presencia de ADP-ATP para la transferencia de energía (imprescindible P);
3. que existan cantidades suficientes de nitrógeno y azufre para la síntesis de proteínas;
4. que existan las enzimas para catalizar los procesos bioquímicos en la planta. Las enzimas dependen de:
   — la posibilidad de la planta de poder formar las respectivas proteínas;
   — la existencia de la co-enzima específica,que en muchos casos es una vitamina;
   — la disponibilidad del elemento específico activador, que generalmente es un mineral y muchas veces un micronutriente.

En la deficiencia de micronutrientes la mayoría de las enzimas activas no se forman en cantidad insuficiente y, con la deficiencia de enzimas, la formación de sustancias orgánicas es mucho más lenta o está alterada.

Para una producción agrícola abundante se necesitan suficientes enzimas en la planta. Los suelos tropicales, en su mayoría, son "pobres" en nutrientes o por lo menos los tienen distribuidos por un perfil profundo, de modo que una fertilización con NPK y un encalado deben ser complementadas con la aplicación de micronutrientes, para mantener el equilibrio y activar las enzimas, que son los biocatalizadores.

Algunas enzimas se "gastan" después de pocas reacciones bioquímicas, como varias oxidasas, y otras pueden actuar en decenas de millares de reacciones sin desgastarse, como la catalasa. Las enzimas son como llaves en una cerradura: sirven sólo para un único y determinado proceso. Su actividad aumenta normalmente con la temperatura, teniendo la mayoría de ellas su punto óptimo con 37° C. Existen enzimas que actúan en temperaturas bajas. Entre 58° y 62° C, las enzimas son desnaturalizadas, es decir, destruidas.

Ellas dependen de un determinado pH en la célula y de una concentración óptima del sustrato sobre el cual deben reaccionar. Los elementos más necesarios para la activación de las enzimas son potasio, manganeso, magnesio, hierro, cobre, cinc y boro. Es un gran error querer eliminar el manganeso del suelo por medio del encalado, sólo porque en una gran concentración es tóxico.

Resumen

El equilibrio entre los nutrientes es tan importante como el oxígeno y el agua. Para un metabolismo eficiente se necesita tanto la liberación de energía como la actividad de enzimas. El eje de toda producción vegetal es el equilibrio fotosíntesis-respiración, que debe ser controlado por las técnicas agrícolas adecuadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **ANDA** - 1976 - no Seminário Nacional da Agropecuária. *A granja, ed. especial pp 60-78.*
2. **Anderson, W. P; D. P. Allen** e **A. Meiri,** - 1970 - Excised root exudation a standing gradient of osmotic flow. *Proc. Roy. Soc. London, B, 174:445-58.*
3. **Batey, T.** - 1973 - Uso e manejo do solo tropical. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria/RS.*
4. **Berri, V.** - 1954 - Em: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, de Mengel 1965, *Fischer, Jena.*
5. **Bergmann, W.** e **P. Neubert,** - 1976 - Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. *Fischer, Jena.*
6. **Bonner, J.** e **A. W. Galston,** -1967 - Princípios de Fisiologia Vegetal. *Aguilar, Madrid.* (Versão espanhola de **F. Portilho**).
7. **Boguslawski, E. von,** -1958 - Das Ertragsgesetz, Handbuch der Pflanzenphysiologie. Vol. IV p 943, *Springer, Berlin.*
8. **Corsini, P. C.** - 1974 - Modificação de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intenso. *Cientif. 2(2):148-61.*
9. **Eckern, P. C.** - 1964 - Soil moisture and soil temperature changes with the use of black vapor barrier mulch and their influence on pineapple growth in Hawaii. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 1 em:* Soils, de **Donahue,** *Prentice Hall, New Jersey, p 49.*
10. **Ehrler, W. L.** - 1962 - Transpiration of alfafa as affected by low root temperatur and other factors of controlled environment. *Plant Physiol. 37:11-18.*
11. **Epstein, E.** - 1972 - Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. *Wiley, New York.*
12. ---------- e **R. L. Hefferies,** - 1964 - The genetic basis of selective ion transport in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. 15:169-84.*
13. **Davis, T. A.** - 1961 - High root pressure in palms. *Nature, 192:277-78.*
14. **Downes, R. W.** - 1970 - Differences between tropical and temperate grasses in rates of photosynthesis and transpiration. *Proc. IX Int. Grassl. Congr. Canberra. Austrália, p 527-30.*
15. **Ferri, M. G.** - 1971 - Histórico dos Trabalhos Botânicos sobre o Cerrado. Simpos. Cerrado, USP, *Blücher, São Paulo, pp 7-37.*
16. **Fujino, M.** - 1967 - Role of adenosine-triphosphate and adenosine-triphosphatase in stomatal movement. *Sci. Bull. Fac. Educ. Nagasaki Univ. 18:1-47.*
17. **Hatch, M.D.** e **C.R.Slack,** -1966- Photosynthesis by sugar cane leaves. A new carboxilation reaction and pathway of sugar formation. *Biochem. J. 101:103-11.*
18. ----------, ---------- e **H. S. Johnes,** - 1967 - Further studies on a new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in sugar cane and its occurrance in other plant species. *Biochem. J. 102:417-22.*
19. -------- e --------, - 1970 - Photosynthetic CO_2 fixation pathways. *Ann. Rev. Plant Physiol. 21:141-62.*
20. --------, - 1971 - Differing photosynthetic pathways and biochemichal factors influencing net assimilation. *XII Pacific Sci. Congr. Canberra, Australia, p 70.*
21. **Hoagland, D. R.** - 1964 - Lectures of the inorganic nutrition of plants. *Chronica Botanica, Com. Waltham. Mass.*

22. **Jackson, R. D.** - 1964 - Water vapor diffusion in relatively dry soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(3):467-70.*
23. **Jurion & Henry,** - 1969 - The review of soil research in tropical Latin America de **Sanchez.** *USAID, csd 2806, North Carolina State Univ.*
24. **Kalkmann, R. E.** e **C. T. A. Fratini,** - 1967 - Contribuição à interpretação das análises de potássio em solos do RGS. *Pesq. agropec. bras. 2:263-67.*
25. **Klapp, E.** - 1967 - Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaus. *ed 5 Parey, Berlin.*
26. **Kozlowski, T. T.** - 1964 - Water metabolism in plants. *Harper & Row, New York.*
27. - - - - - - - -, - 1968 - Water deficits and plant growth. I: Development, controls and measurement. II: Plant water consumption and response. *Academic Press. New York & London.*
28. **Kramer, P. J.** - 1965 - Water relationship of plant cells and tissue. *Ann. Rev. Plant Physiol. 6:53-61.*
29. - - - - - - - -, - 1969 - Plant and soil water relationship. A modern synthesis. *McGraw-Hill, New York.*
30. **Linser, H.** - 1965 - Rentabilität und wirtschaftliche Bedeutung der Düngung. *Springer, Wien &New York. pp 1390-1444.*
31. **McNeal, B. L; D. A. Layfield; W. A. Norwell** e **J. D. Rhoades,** - 1968 - Factors influencing hydraulic conductivity of soil in the presence of mixed salt solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(1):187-90.*
32. **Machado, J. A.** - 1976 - Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo. *Tese Livre Doc. UFSM/RS.*
33. **Mengel, K.** - 1965 - Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *Fischer, Jena.*
34. **Müller, E. L.** - 1973/74 - Curso de Fisiol. Vegetal no *Curso Pós-Grad. Biodin e Produt. Solo. UFSM/RS.*
35. **Neumaier, N.** - 1975 - Efeito da fertilidade do solo, época de plantio e população sobre o comportamento de duas cultivares de soja (*Glycine max (L) Merrill.*)*Tese MS, UFRGS, Porto Alegre.*
36. **Oertli, J.J.** - 1962 - Loss of boron from plants through gutation. *Soil Sci. 13:94-214.*
37. **Oliveira, B. A. D. de, e o.** - 1973 - Identificação de gramíneas tropicais com via fotossintética C-4 pela anatomia foliar. *Pesq. agropec. brasi. 8(8):267-71.*
38. **Passarinho, J.** - 1976 - Futuro da Amazônia legal. Confer. no Congr. bras. de Anastesiolog. *Belém.*
39. **Peive, J. B.** e **A. J. Kraya** - 1956 - Os microelementos e sua importância na agricultura e medicina. *Isd. An. Latv. SSR, p 425-518. (russo)*
40. **Primavesi, A. M.; A. Primavesi** e **C. Veiga,** - 1971 - Influência dos equilíbrios nutricionais no arroz irrigado sobre a resistência à brusone (*Piricularia oryzae Cav.*) *Rev. Centro Ciênc. Rur. 1(2):101-24.*
41a. **Rands R. D.** e **F. Dopp,** - 1938 - Influence of certain harmfull soil constituents on severity of Pythium root rot of sugar cane. *J. Agr. Res. 56:53-67.*
41b. **Römer, W.** - 1966 - Experiment on iron reduction after compacting of shifted loess. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 114(1):101-12.*
42. **Rufelt, H.** - 1956 - Influence of the root pressure on the transpiration of wheat plants. *Physiol. Plantarum, 9:154-64.*
43. **Scharrer, K** e **H. Linser,** - 1966 - Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. I/2 Boden, *Springer, Wien & New York.*
44. **Schendel, V.** - 1967 - Probleme des Wasserhaushaltes, der Bodenerosion und der Bewässerung in wärmeren Klimazonen. *Kulturtech. u. Flurberein. 8(2):68-84.*
45. **Schütte, K. H.** - 1964 - The biology of trace elements. *Lockwood London.*
46. **Seaman, J. F.** - 1977 - Energias e matérias-primas obtidas da biomassa florestal. *Silvic. Simp. Floresta potencial energético bras.*
47. **Slack, C. R.** e **M. D. Hatch,** - 1967 - Comparative studies on the activity of carboxylase and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in the tropical grasses. *Biochem. J. 103:660-65.*
48. **Slatyer, R. O.** - 1961 - Effect of several osmotic substracts on the water relationship of tomatoes. *Austral. J. Biol. Sci. 14:519-22.*
49. **Souza, D. M. P. de,** - 1967 - Água no solo: armazenamento e disponibilidade em Terra Roxa estruturada e Terra Roxa misturada. Rev. *Esc. Agron. Vet. Paraná. 3(único):79-138.*

50. **Trenkel, M; A. Fritz e K. Kummer,** - 1976 - Experiencias acerca de la fertilización foliar. *Rep. Agric. BASF, Supl. 4 pp 3-8.*
51. **Vaadia, Y. e o.** - 1961 - Plant water deficit and physiological processes. *Ann Rev. Plant Physiol. 12:265-71.*
52. **White, P. R.** - 1928 - Root pressure, an unappreciated force in sap movement. *Ann. J. Bot. 25:223-27.*

Capítulo 2

LA RAIZ

En los últimos decenios la genética realizó avances maravillosos. Se desarrollaron plantas para los más diversos ambientes, se adaptaron las especies en casi todas las latitudes y altitudes, se aumentó la producción por la hibridación. Se cultivaron variedades resistentes a las enfermedades, por lo menos por algunos años. Existen variedades precoces y de ciclo ultracorto y variedades enanas, y la posibilidad de influir sobre los genes por medio de irradiaciones y sustancias diversas, permite un gran número de mutaciones.

Mientras el Dr. Borlaug recibe el premio Nobel por su trigo enano que permite altos rendimientos en suelos neutros y alcalinos en las zonas sub-húmedas de México, el problema de la producción vegetal en los suelos ácidos de los trópicos húmedos parece no estar resuelto todavía. En un trabajo reciente (109), se constató que las variedades brasileñas, por lo menos en lo que se refiere a trigo, maíz y soja, no son inferiores a las europeas en capacidad de absorción y metabolización en condiciones idénticas. Pero, de todos modos, la producción en Brasil está muy por debajo de las zonas templadas.

Lo que hace falta no es una variedad más productiva, sino la comprensión de las condiciones ambientales, es decir, del suelo que precisa la planta. *Las exigencias de la planta incluyen el bienestar de su raíz.*

Por la raíz ella absorbe los nutrientes, en la raíz se procesa parte de la síntesis de los aminoácidos (86). Por la raíz la planta se abastece de agua y asimila sustancias de crecimiento, nutrientes y antibióticos del suelo (37, 38). La raíz siente el efecto directo de las técnicas agrícolas. No hay duda de que todo manejo del suelo tiene como único fin crear condiciones favorables a la planta y, especificamente, a la raíz, para que existan condiciones óptimas de producción (63).

La producción agrícola es la meta prioritaria en el mundo entero para evitar el hambre, cada vez más generalizado. Pero, sin condiciones favorables para la raíz, la parte aérea de la planta no produce bien. Y, mientras se produzca poco por área cultivada, el costo será elevado y el precio del producto alto.

La productividad agrícola depende:

1. del suelo y de las condiciones biológicas, químicas y físicas que ofrece;
2. de la planta y de su capacidad genética de producir;
3. de las técnicas agrícolas por las cuales se trata de crear condiciones que permiten el desarrollo de la capacidad genética de la planta.

¿Y el clima? El clima no es un factor aislado. Actúa a través del suelo (132) y su efecto está mitigado por la adaptación de la planta. Esta se adapta a la temperatura, a la luminosidad y a la humedad del aire. El suelo regula la distribución de la humedad por su capacidad de conservar agua disponible (2, 8, 9, 97, 124).

El clima sólo se torna factor decisivo cuando el suelo no cumple su misión de "amortiguar", suavizar, las oscilaciones climáticas. Y el efecto perjudicial de lluvias frías, como ocurren en el sur, generalmente puede ser evitado por un plantío en la época justa. El efecto de la distribución pluvial y especialmente los "veranicos" se tornan decisivos para la producción, si el suelo está mal tratado y las técnicas agrícolas no están de acuerdo con las exigencias vegetales del clima tropical, sin considerar la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo (8, 9, 18, 64, 107).

Preocupa en todo el mundo, y no solamente en los trópicos, la formación de costras y compactación de los suelos de cultivo (14, 31, 34, 46, 64, 72, 80). En suelos con poca capacidad de infiltración y almacenamiento, el clima se torna una buena disculpa, que no se aleja de la verdad, pero que está camuflando la verdadera causa (107, 124, 137, 149). ¡Al clima se le atribuyen efectos que en realidad se deben a un manejo inadecuado!

Cuando la planta nativa aparece en un lugar es porque todas las condiciones le son favorables (1, 146, 147). Millares de semillas caen en un metro cuadrado de suelo, solamente pocas centenas consiguen nacer y de éstas, muy pocos ejemplares llegan a desarrollarse. No depende sólo de la presencia de la semilla que una planta nazca, depende igualmente de los microorganismos, de la riqueza o pobreza química del suelo, de sus condiciones físicas (y aquí, en especial, de las costras superficiales) (14, 108), del régimen de aire y agua, de la insolación, y del uso que hace el hombre y el ganado (143, 148). Por eso se habla de "ecotipos". Por ejemplo, en Rio Grande do Sul, los cazadores saben que donde crece el Mio-mio* el suelo es firme, en contraste con el suelo encharcado cubierto por el capim-caninha (*Andropogon incanis*).

Y los ganaderos saben que el ganado no se desarrolla bien en las zonas donde crece el Mio-mio, aunque no lo coman, porque falta molibdeno (108a). Y el labrador sabe que la tierra del Mio-mio raramente puede ser arada porque es demasiado plana.

La planta nativa puede servirnos de "indicadora" porque acusa perfectamente las condiciones del suelo (20, 70, 147). Así la "barba-de-bode"** (*Aristida pallens*), el "capim-cabeludo" (*Trachypogon spp*) o el "sapé" (*Imperata exaltata*) son plantas típicas de suelos periódicamente quemados, muy ácidos, pobres en calcio y fósforo, y con un régimen hídrico alterado. El capim-seda o "gramilla rastrera" (*Cynodon dactylon*) indica suelos muy compactados y las samambaias (en Argentina helechos) indican suelos con tenor elevado de aluminio intercambiable. Todos los "capins" (pastos) de tipo *Andropogon*, como "cola de burro", "cola de conejo", "capim-caninha", etc., indican suelos pobres con problemas de drenaje. Y así cada lugar puede ser identificado por la vegetación allí existente (20, 70, 71, 146, 147).

En la agricultura no se pregunta qué planta podría crecer espontáneamente en este terreno. Se impone un cultivo defendiéndolo contra la vegetación nativa, que siempre volverá a invadir el campo que le es propio. Los "ecotipos" (eco: lugar) se tornan invasores (7).

Allí entra la técnica agrícola que debe:

1. elegir el suelo más adecuado para determinado cultivo o pastura;
2. crear las condiciones que benefician al máximo el cultivo implantado. Se pueden elegir variedades apropiadas al clima y al suelo, colocar "corta-vientos", reforestar y tal vez construir acequias o diques, encalar y fertilizar y defenderlos contra pestes y plagas que generalmente provienen del suelo (*soil born*).

Como es básico que la planta esté adaptada al clima, lo que debemos propiciar es un suelo favorable a su cultivo. Y la parte más delicada es la que crece en el suelo, la raíz. Por lo tanto el problema mayor es el de acondicionar la raíz de manera conveniente.

*Subarbusto de las compuestas (*Baccharis cordifolia*), muy ramificado, de hojas lineares, sésiles, algo rígidas y con los bordes aserrados. (*N.T.*)

** "Barba de chivo". *(N.T.)*

LA FORMA DE LA RAIZ

La raíz es característica a la especie y puede ser pivotante o fasciculada.

La planta puede formar rizomas u órganos de almacenamiento, tubérculos como la papa, raíces ensanchadas como la mandioca, bulbos como la cebolla, según sea el lugar y la época en que la planta, en estado nativo, vegeta y florece. La raíz sirve para anclar la planta en el suelo, para absorber agua y nutrientes, para producir parte de los aminoácidos (86) y para excretar sustancias o metabolitos que pueden ser "basura", pero que sirven de todos modos al sustento de la microvida en la rizosfera, y que movilizan nutrientes (26, 64, 76, 144) (ver capítulo 6). Excreta igualmente minerales, como por ejemplo, potasio en la época de maduración, lo que es un hecho muy conocido. Muchas veces la raíz también tiene la capacidad de retener minerales absorbidos, que la planta no puede utilizar en grandes cantidades (15, 108a).

La raíz no puede absorber en toda su superficie, y si lo hace es en mínima cantidad. El lugar principal de absorción está inmediatamente después de la punta de las radículas, en la zona donde ya se forman pelos y donde la cáscara todavía no está suberificada, como muestra la figura 2-1 (33, 79, 86).

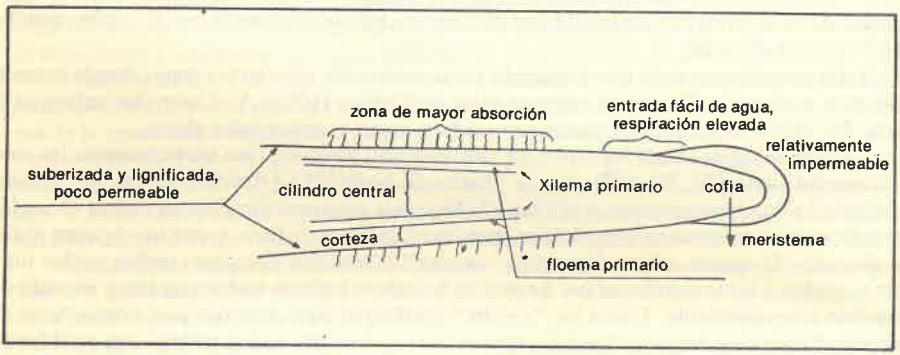


Fig. 2.1 *Punta de una radícula mostrando las zonas donde se realiza la mayor absorción.*

La zona de mayor absorción se sitúa, generalmente, 1 a 2 mm atrás de la punta de la radícula. Eso significa que la raíz tiene que formar permanentemente nuevas puntas a medida que las que existen se van suberificando. Si extrajéramos una raíz de una planta que pasó por un período seco y que luego recibió agua, veremos una gran cantidad de radículas blancas, recién formadas. La absorción intensa tiene lugar sólo cuando la raíz crece (86). Esa es la razón por la que mueren y se renuevan permanentemente las raíces, lo que enriquece al suelo con materia orgánica.

La raíz puede crecer formando una cabellera densa en un lugar reducido, como ocurre en los suelos ricos y en los humosos (con humus) (122, 123), o puede aumentar de tamaño (79).

Crecimiento significa avance. Y, en los suelos menos ricos, para poder abastecerse de agua y nutrientes, la raíz tiene que avanzar en el suelo, siempre explorando espacios nuevos (53). Cuantas más radículas posea una raíz, tanto mejor será la exploración del suelo (29, 39, 57, 82, 87, 90). **Dittmer** (1937) midió el largo y la superficie total de la raíz de una planta adulta de centeno (*Secale cereale*), cultivada en una caja de 30 × 30 × 55 cm.

Cuadro 2.1

	Largo total en metros	*Volumen total en milímetros*	*Superficie en m²*
Raíces	623.089	7.529	237,4
Radículas	10.627.752	1.180	401,5
Total raíces	11.250.841	8.709	638,9

Total de la superficie foliar, incluyendo tallos y troncos: 4,7 m².

Se comprueba así, que una masa enorme de raíces es destinada a sustentar un área relativamente muy pequeña de hojas. La extracción paciente de una raíz de remolacha da una impresión de esta relación, como muestra la figura 2-2.

El largo y el volumen de las raíces no siempre es idéntico. El sistema radicular varía según la especie y asimismo según la variedad del vegetal, el suelo, la disponibilidad de agua, la riqueza mineral del suelo, el aluminio o manganeso tóxico, y el clima (24, 79, 115, 116, 117, 130, 134).

FACTORES DE LOS CUALES DEPENDE EL ENRAIZAMIENTO DE UN SUELO

El enraizamiento de un suelo depende esencialmente:

1. de la especie vegetal (73, 79, 134, 146);
2. de las propiedades físicas del suelo, especialmente de su estructura (27, 35, 45, 56, 82, 90, 99, 103, 125);
3. de las propiedades químicas del suelo, es decir, de su riqueza o pobreza en nutrientes y factores tóxicos (117, 118, 119, 151);

Fig. 2.2 *Raíz de una remolacha crecida en suelo grumoso, desarrollando una cabellera abundante.*

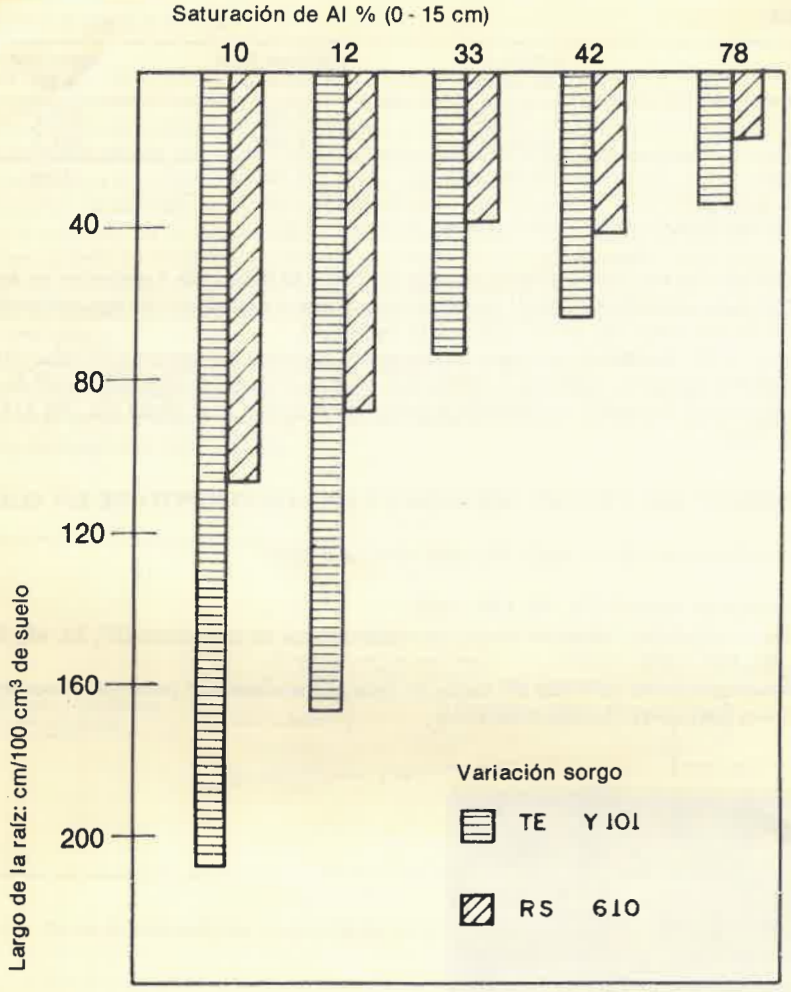


Fig. 2.3 *Diferencia de variedad de sorgo en relación al largo radicular y porcentaje de saturación de aluminio (***Salinas,** *1975).*

4. de la humedad del suelo, influyendo tanto sequías como "veranicos", como exceso de agua por estancamiento (31, 34, 45, 48, 70, 73, 93, 112);
5. del uso del suelo, en especial por las técnicas agrícolas empleadas (46, 80, 111, 119) y que aflojan o compactan el mismo, y el manejo del ganado en pastajes (71, 143);
6. del clima (79), incluyéndose aquí temperaturas y precipitaciones, y los métodos de uso del suelo que permiten su fuerte calentamiento o su impermeabilidad al agua;
7. del nivel freático (21, 95, 141, 151).

Generalmente el 65 % de las raíces de las herbáceas se encuentran en la capa superficial (71, 79, 139). Con la profundidad del perfil del suelo disminuye la abundancia de las raíces (79, 118).

Las raíces más profundas que un metro, probablemente sirven sólo para el abastecimiento de agua en períodos secos (11, 151). Normalmente las plantas con raíces más pro-

fundas consiguen superar mejor los "veranicos" (8, 9), y con un volumen radicular extenso se alimentan mejor (80, 116).

La capacidad de formar raíces está genéticamente condicionada, y un volumen grande de raíces, por lo general, habilita a la planta para producir normalmente en suelo pobre (116).

Cuadro 2.2 *Largo y superficie de raíces y radículas* **(Russell,** *1952)*

Cultivo	*Largo de la raíz m*	*Superficie de la raíz cm²*	*Número de radicelas millones*	*Largo de radicelas m*	*Superficie radicelas cm²*
soja	28,96	406,5	6,1	597,4	277,4
avena	45,72	316,1	6,3	8.047,0	3.420,0
centeno	64,01	503,2	12,5	16.800,0	7.678,0
Andropogon	384,00	2.119,0	51,6	51.660,0	15.810,0

(Obs.: Las raíces fueron medidas en un volumen cilíndrico de suelo de 7,62 cm de diámetro y de 15,24 cm de longitud.)

De los resultados se puede deducir que el "blue grass" *(Anadropogon sp)* es capaz de crecer en un suelo más pobre que la soja, dejando muchos restos orgánicos provenientes de raíces muertas, que mejoran el suelo físicamente (25). La especie vegetal, por lo tanto, posee las propiedades específicas de poder hacer aprovechar un suelo.

Las propiedades físicas del suelo y el enraizamiento

Cuando la raíz tiene un desarrollo libre, duplicando su longitud, el espacio explorado será 8 veces mayor (11). La planta que explora un mayor volumen de suelo está mejor nutrida (130). En la figura 2-4 se muestra el efecto de la posibilidad de una expansión radicular mayor. La planta, duplicando la longitud radicular, puede absorber agua y nutrientes de un espacio 8 veces más grande del que consigue con la mitad de la misma. Consecuentemente, recibe 8 veces más agua y nutrientes.

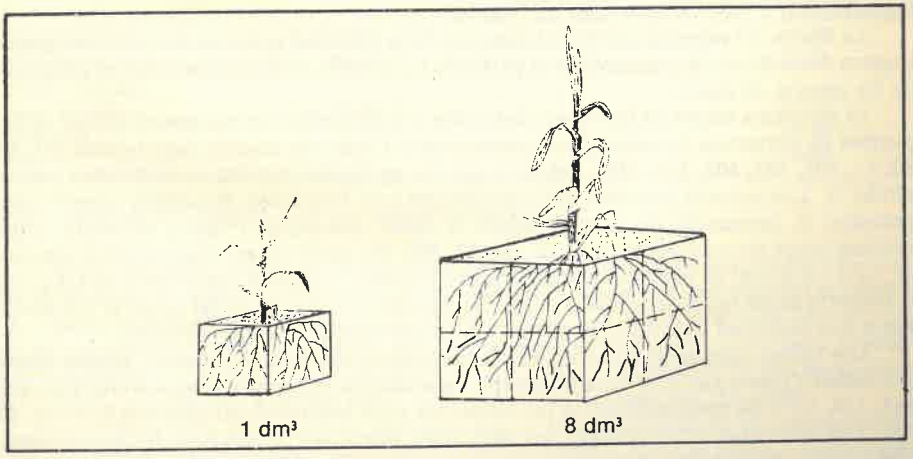


Fig. 2.4 *Efecto de la duplicación de la longitud radicular sobre el volumen del suelo explorado.* **(Batey,** *1973).*

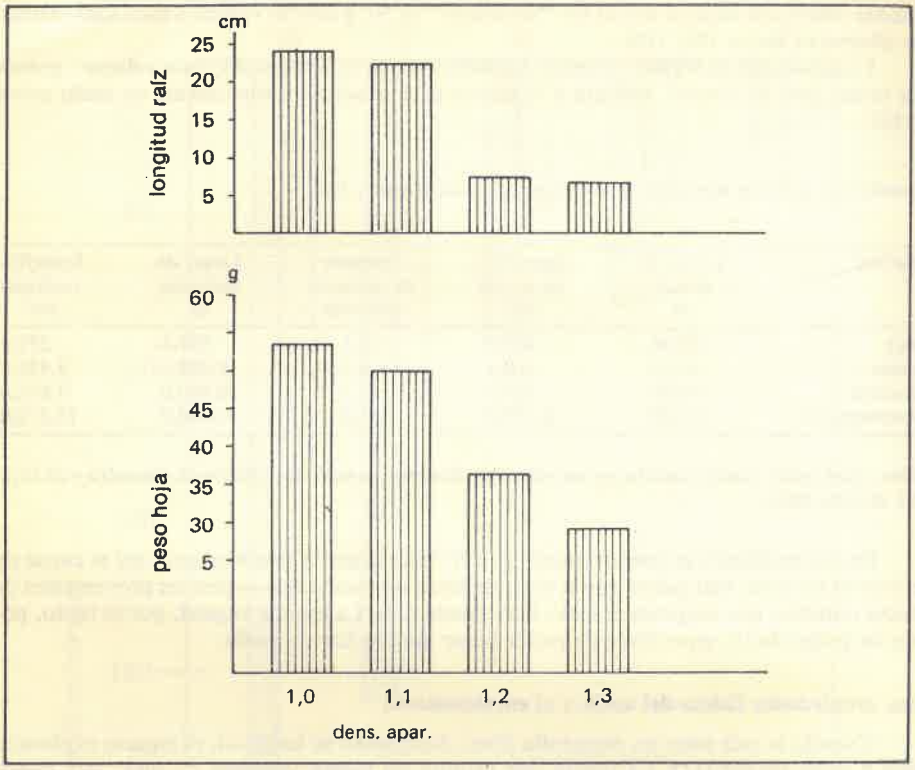


Fig. 2.5 *Efecto de la compactación del suelo en el desarrollo y penetración de plántulas de cacao de 6 meses de edad* (**Ferreira**, *1977*).

Por lo tanto, cualquier barrera que impida el libre desarrollo radicular representa un impedimento a todo el desarrollo del vegetal.

La figura 2-5 muestra que con el aumento de la densidad aparente del suelo, la raíz encuentra dificultades de penetración (a partir de 1,2 g/cm³), reflejándose sobre el desarrollo de las plantas de cacao.

El problema mayor de los suelos dedicados a la agricultura es que con el tiempo de uso pierden su estructura favorable, compactándose y formando costras superficiales (35, 46, 50, 51, 101, 102, 103, 127, 138), debido a que sus agregados pierden su estabilidad (ver capítulo 7). Los mismos procesos que contribuyen a la formación de costras superficiales, permiten la formación de adensamientos o capas compactas (''pisos de arado'') que muchas raíces no consiguen traspasar (31, 53, 80). En suelos secos, una densidad aparente de 1,2 a 1,4 g/cm³ ya puede constituir una barrera seria, mientras que a partir de 1,6 g/cm³ la mayoría de las raíces se desvía (11, 78). De esta manera, las raíces del cacao se ven limitadas a una densidad de 1,2 g/cm³ (35), y las de los cafetos, a 1,4 g/cm³ (78).

Los suelos vírgenes (no utilizados anteriormente) son más permeables, poseen mayor porosidad y conservan más agua disponible, gracias a su estructura grumosa (12, 105, 106, 114, 116, 127). Su enraizamiento es profundo por tener una densidad aparente baja (46, 58, 78). Por el cultivo y las técnicas actuales, esta estructura se degrada invariablemente, aumentando la densidad de la capa que está inmediatamente después de la superficie, donde la mayoría de las raíces debería desarrollarse (46, 64, 72, 83, 85, 137, 139).

Se podría creer que la compactación y el aumento de la densidad de los suelos, inducido por la mecanización y el cultivo actual en general, y que reducen las cosechas (101, 102, 103, 119), puedan ser eliminados con técnicas más sofisticadas. Como dice **Gill** (1971): "Convivimos con un sistema agrícola que tiene la capacidad inherente de compactar y aumentar la densidad de los suelos".

El agua del suelo

El efecto primario de compactación sobre el crecimiento vegetal, puede ser asociado directamente con el agua disponible (31, 46, 107, 127, 149). El segundo efecto es la condición en que queda el suelo después de utilizar maquinarias para su preparación (80, 111). El tercero es la considerable falta de oxígeno en el suelo explorado (45, 56, 87, 99).

Las condiciones normalmente encontradas en un suelo dedicado a la agricultura son:

1. una costra superficial que impide la infiltración de agua de lluvia, provocando su escurrimiento y con ello, la erosión (14, 31, 60);
2. le sigue, inmediatamente debajo, una capa suelta de 6 a 8 cm de espesor (60, 101);
3. debajo de la anterior se encuentra una capa muy densa, cuyo espesor oscila entre 6 y 15 cm, con diferentes grados de densidad, y que generalmente constituye una barrera de efecto variable a la penetración radicular (46, 53, 101, 121, 125).

Este cuadro significa que el suelo, expuesto al sol y a la lluvia, no resistió el impacto del agua (11, 64, 119), deshaciéndose las partículas y agregados del suelo, cuya parte fina, llevada hacia adentro del suelo, forma las capas compactadas o *pans*. El hecho de que estos *pans* puedan ser atravesados depende, en parte, de su grado de humedad (34, 124).

En la mayoría de los suelos "viejos" de cultivo, la raíz queda restringida a la capa superficial, sufriendo temperaturas extremas (2, 10, 119).

Cuadro 2.3 *Parte de la "corriente de calor" en el suelo (en %) medida en la diferencia de insolación/calor con vegetación diversa del suelo (***Baumgartner,** *1956)*

Capa vegetal	*Saldo de calor en % de insolación*	*Parte del suelo (%) de insolación*	*de la diferencia de insolación*
suelo descubierto	100	15-30	15-30
pastaje bajo	30-80	15	25-35
cereales comunes (trigo, avena)	10-30	10	25-35
capim alto	5-10	5	30-40
selva	5	2-3	30-45

(Obs.: insolación = radiación total que alcanza la tierra.)

Cuanto más alta y densa sea la cobertura del suelo, tanto menor es la radiación solar que lo alcanza; sin embargo, tanto mayor es el efecto utilizable, como muestra el cuadro 2-3. Cuanto mayor sea el calor que llega al suelo, tanto más perjudicial será para la raíz, que no conseguirá desarrollarse en esa capa del suelo, por falta absoluta de agua. Lógicamente, también se verá perjudicada la absorción de agua y nutrientes (8, 9), y la parte aérea de la planta acompañará a la raíz teniendo un rendimiento reducido (63, 129).

El problema de la formación de costras se debe a la inestabilidad de los agregados del suelo en agua, y derivan en bajos rendimientos de los cultivos, como muestra el cuadro 2-4.

Podemos observar que el efecto del estiércol sobre la resistencia de los agregados es prácticamente nulo, oscilando la densidad aparente de la capa superficial del suelo entre

Cuadro 2.4 *Rendimiento del maíz en relación a la densidad aparente del suelo seco, su tenor en carbono y la estabilidad de los agregados* (**Stauffer**, *1940*)

Rotación de cultivo y fertilizante	*maíz* kg/ha	*Densidad aparente* g/cm³ 0-15 cm	15-23	*Tenor en carbono (%)* 0-15 cm	15-23	*Estabilidad de los agregados en agua (%)*
maíz-maíz sin abono	2.600	1,37	1,25	1,74	1,48	8
maíz-maíz con Cal. P y estiércol	4.400	1,31	1,26	2,09	1,91	6
maíz-avena sin abono	3.500	1,33	1,30	2,14	2,04	6
maíz-avena con Cal. P y estiércol	5.600	1,24	1,37	2,44	2,04	7
maíz-avena-leguminosa, sin abono	4.900	1,31	1,28	2,28	1,99	11
maíz-avena-legum. c/Cal. P. y estiércol	6.700	1,21	1,28	3,25	2,18	13
Paja superfic. incorporada, sin abono		1,28	1,29	3,20	2,16	50

(Obs.: El tamaño de los grumos es > 0,5 mm.)

1,24 y 1,33 g/cm³ cuando fuere hecha una rotación. Sólo una rotación de tres cultivos, incluyendo leguminosas, con una mejor cobertura del suelo, surtió algún efecto. El aumento de las cosechas en rotación con abono (fertilizante) es debido a otros factores tratados en los capítulos 4 y 9.

El efecto de la paja sobre la resistencia de los agregados es pronunciado.

La habilidad de las plantas de poder crecer en suelo seco o húmedo depende del potencial radicular. Así, por ejemplo, el sorgo supera mejor los períodos secos y crece mejor en suelo compactado que el maíz (22). Las raíces de aquellas plantas que pueden alcanzar 3 a 6 m de profundidad si no hubiere obstáculos, posibilitan el desarrollo normal de sorgo, alfalfa o artemisias, en zonas poco lluviosas. Sin embargo, ninguna planta consigue crecer en capas secas, sobrecalentadas por la incidencia directa del sol.

En la figura 2-6 se esquematizó el efecto de una costra superficial en el desarrollo radicular. Esta costra impide la infiltración de agua pero es buena conductora de calor, de modo que crea una capa de unos 5 cm completamente seca y caliente durante el día. Aquí la raíz no puede formar radicelas. Le sigue una capa fofa, bien enraizada, donde existe la suficiente humedad para el crecimiento radicular, y por debajo le sigue una capa densa que traba el desarrollo normal de las raíces.

El escardado y los herbicidas, que mantienen el suelo limpio de hierbas indeseadas, aumentan el efecto de la sequía y el calor en esta capa.

En el suelo grumoso, el calor superficial provoca la ascensión del agua a la superficie. En un suelo compactado y encostrado, donde la infiltración es deficiente, la sequía es total, y el calentamiento pronunciado, como se muestra en la figura 2-7.

Las costras superficiales impiden la infiltración de agua (31, 34, 46, 77, 111, 115, 135). *¡Recordemos que no es el agua de lluvia que cae, sino la que se infiltra en el suelo, lo que hace crecer a las plantas!*

Donde el agua no se infiltra, o lo hace en muy poca cantidad, el resto se escurre. El efecto de la costra superficial es tanto más pronunciado sobre la infiltración, cuanto más compactado estuviere el suelo en la capa inmediata inferior (124). Si a la costra le sigue un suelo suelto, floculado, el efecto es menor, como es menor la erosión, según constató **Sch-**

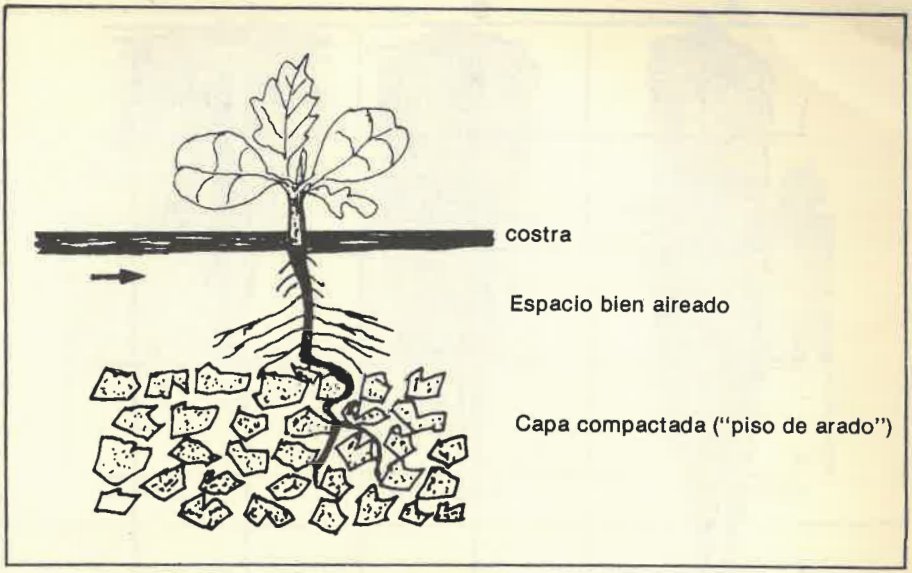


Fig. 2.6 *Efecto de la costra superficial sobre el desarrollo radicular.*

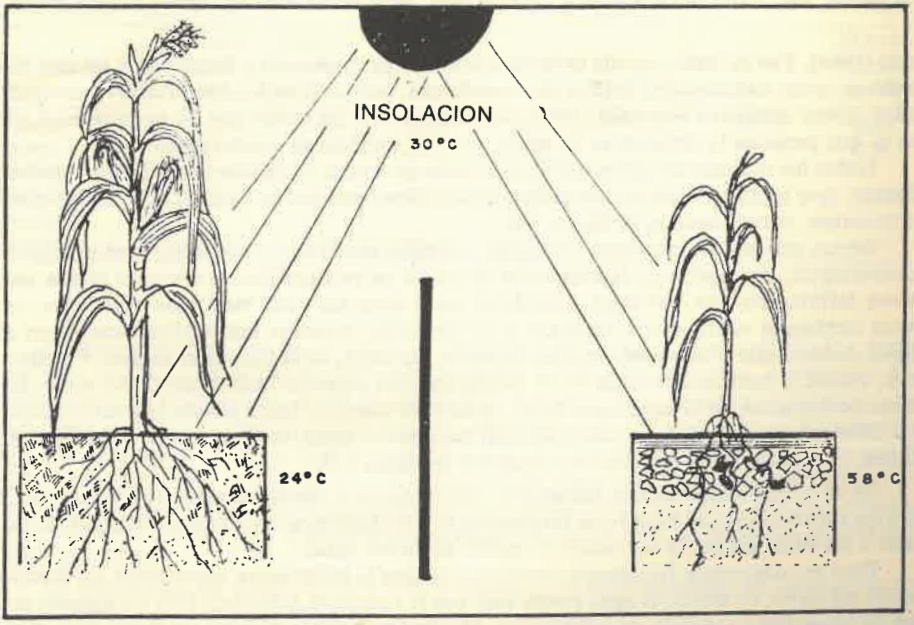


Fig. 2.7 *Efecto de la insolación directa sobre un suelo encostrado y compactado.*

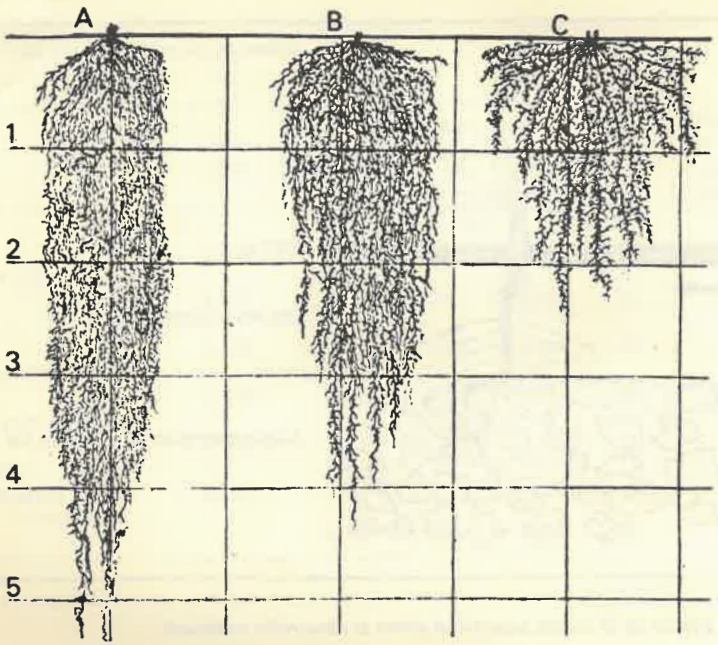


Fig. 2.8 *Variaciones de la raíz de una planta según la humedad y la riqueza mineral (***Kutschera,** *1960).*
a) clima húmedo, suelo permeable con riqueza mineral reducida; b) clima húmedo, suelo permeable y con humus, con riqueza mineral buena; c) clima seco, suelo permeable con riqueza mineral buena.

midt (1964). Por lo tanto, puede existir xerofitismo pronunciado y llegar hasta un casi desierto en zonas con elevados índices pluviométricos, pero con suelos encostrados y compactados, como demostró **Schendel** (1967) (ver capítulo 1). De modo que no siempre es el clima el que provoca la deficiencia de agua, y sí, en cambio, el mismo suelo.

Todos los ecologistas saben que la raíz varía de forma y tamaño según la humedad en el suelo, que puede ser consecuencia del clima, como muestra la figura 2-8, o de las compactaciones, como muestra la figura 2-9.

Vemos que la raíz, en procura de agua, consigue enraizar el suelo hasta profundidades considerables, de modo que la existencia de raíces en profundidades mayores indica una buena infiltración. Sin embargo, cuando el suelo tiene un nivel mayor de nutrientes, las raíces consiguen nutrirse con facilidad y no necesitan penetrar tan profundamente en el suelo, siempre que el consumo de agua dependa, también, de la nutrición vegetal. En clima seco, donde la cantidad de agua no es suficiente para percolar todo el perfil del suelo, las raíces permanecen en la capa superficial, indicando con esto hasta dónde hay infiltración. Sin embargo, cuando el desarrollo radicular permanece superficial por causa de compactaciones, el aspecto es otro, como nos muestra la figura 2-9.

Se ve cómo la infiltración disminuye a medida que el suelo muestra compactaciones y costras superficiales, de modo que finalmente se transforma en una vegetación xerófita, debido a las dificultades de las raíces en poder absorber agua.

Esto se comprende fácilmente considerando que la infiltración depende de los macroporos del suelo, de donde el agua puede salir por la fuerza de gravedad. Son los mismos poros de aireación y también de infiltración. **Machado** nos proporciona los datos para el siguiente cuadro, bastante esclarecedor.

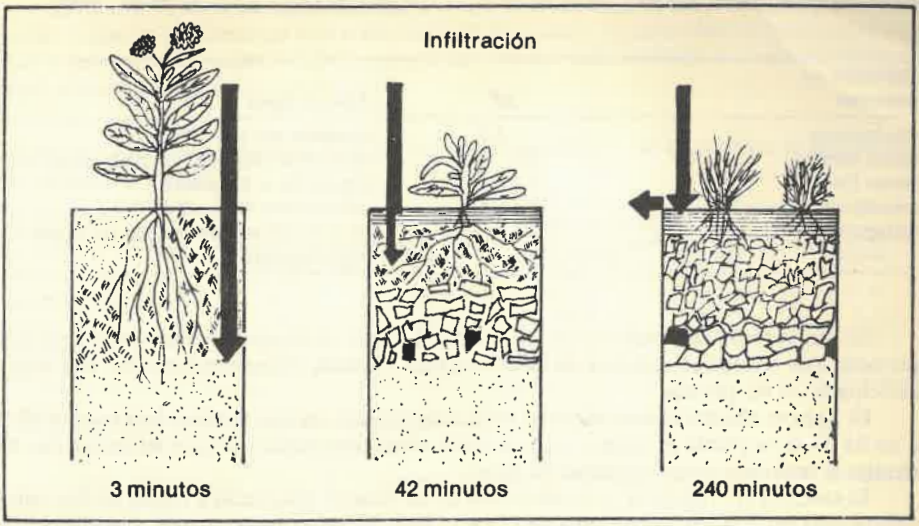


Fig. 2.9 *Efecto de compactación o aumento de la densidad del suelo sobre el desarrollo radicular y la transformación de "ecotipos".*

Cuadro 2.5 *Propiedades físicas y químicas del suelo y la infiltración de agua* (**Machado**, *1976*)

	Densidad apar. g/cm³	*Macro-poros* %	*Infiltr.* 9 h/mm	C %	pH	S %	*Al inter-camb.* me %
bosque	1,15	21,96	84,9	4,4	5,3	12,56	0,16
campo	1,22	16,60	56,1	3,4	5,0	4,75	1,13
plantío convenc.	1,38	7,03	27,6	1,5	4,3	2,83	2,46
plantío directo	1,23	13,29	66,3	3,4	5,3	9,74	0,27

Podemos verificar que no es un único factor que se modifica. La modificación es del conjunto de todos los factores y, cuando aumenta la densidad aparente, disminuyen los macroporos, la infiltración, el pH, la saturación en bases, pero aumenta el aluminio. De modo que el deterioro de las condiciones del suelo es general, favoreciendo así la reducción drástica de la cosecha. A las peores condiciones para el crecimiento radicular se suman la deficiencia de agua y de nutrientes y la toxicidad del aluminio. Y todos estos factores en conjunto dependen de la tecnología utilizada en la preparación del suelo. Por eso, muchas veces, el factor "densidad" le es atribuido al aluminio tóxico que, sin embargo, sólo acompaña al conjunto.

La posibilidad de absorber agua con facilidad en el suelo depende del tamaño de los poros. **Odén** da el siguiente cuadro:

Cuadro 2.6 *Disponibilidad de agua en los diversos tamaños de poros del suelo* (**Odén**, *1957*)

Diámetro en micrones	*pF*	*Tipo de agua*
macroporos	< 1,2	drenable por gravedad
poros medios	1,2 - 2,2	fácilmente disponible a las plantas
poros finos	2,2 - 3,2	disponible a las plantas
microporos	3,2 - 4,2	difícilmente disponible
ultraporos	> 4,2	no disponible para las plantas (agua higroscópica)

Se comprende con facilidad en el cuadro 2-6 que al desaparecer los macroporos se provoca una reducción drástica de la infiltración y causa, consecuentemente, una sequía anticipada en las plantas.

El agua es absolutamente esencial en la vida vegetal, ya que se considera que un 85 % a un 95 % de la planta es agua, y que no existe absorción vegetal sin que las sustancias minerales u orgánicas estén disueltas en agua.

El crecimiento radicular, con excepción de las plantas adaptadas a suelos encharcados, ocurre sólo entre la tensión de agua de 1/3 a 15 atm. En tensiones mayores, muchas plantas encuentran dificultades para retirarla del suelo; en tensiones menores falta el oxígeno, mientras que el agua ocupa los poros de ventilación, como muestra la figura 2-10.

Aunque el agua sea indispensable para cualquier proceso químico o biológico en el suelo, las raíces soportan tan mal su exceso como su escasez. Ningún cultivo, con excepción del arroz, consigue crecer en un suelo saturado en un 100 % de su capacidad de campo. Los cereales de granos pequeños, como trigo o avena, prefieren generalmente una saturación del 60 %, mientras que las arvejas, soja y otras leguminosas tienen su mejor desarrollo con el 80 % de la capacidad de campo. También existen plantas que llegan a crecer bien

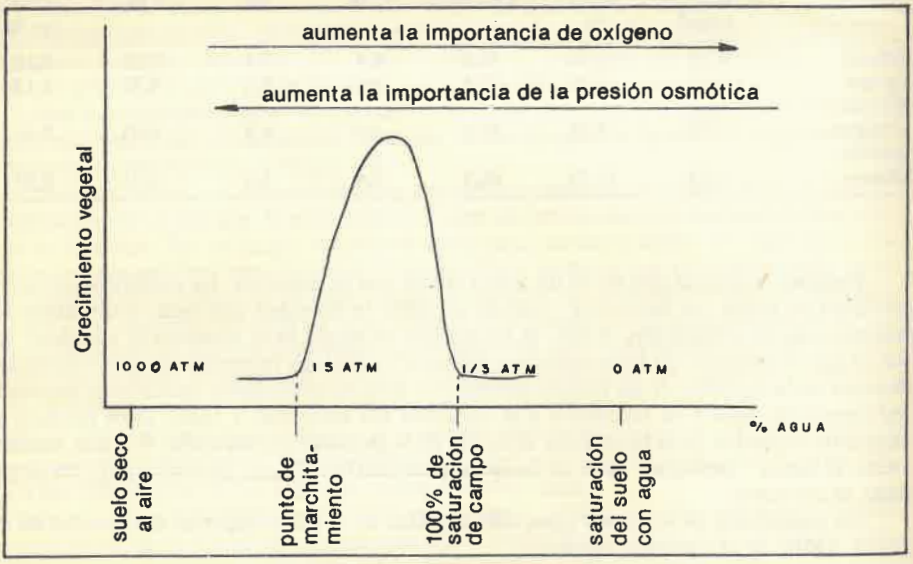


Fig. 2.10 *Grado de saturación del suelo en agua, y su influencia sobre el crecimiento vegetal.*

con apenas el 40 % de la capacidad de campo, como las *Artemisias*. Pero, mientras los cereales bajan su rendimiento más o menos al 20 % cuando la capacidad de campo está saturada, las arvejas lo bajan a 9,3 % porque son mucho más sensibles a un exceso de humedad, como lo muestra el cuadro 2-7.

Cuadro 2.7 *Humedad del suelo en % de su "capacidad de campo", y el rendimiento de algunos cultivo (***Mitscherlich,** *1954)*

Cultivo	*Capacidad de campo*				
	20%	*40%*	*60%*	*80%*	*100%*
centeno	30,7	71,4	100,0	77,6	19,6
arveja	14,1	50,3	87,4	100,0	9,3
poroto-haba	16,1	48,4	63,9	100,0	32,8
papa	15,1	48,3	89,0	100,0	62,5

(Obs.: datos en porcentaje del rendimiento óptimo.)

Existen plantas que viven en pantanos, y otras que habitan en el desierto. Lo que las capacita para ello es:

1. la tensión negativa de la raíz, que también es llamada presión osmótica, y que en las halófitas, que viven en suelos salinos, puede subir hasta 60 a 100 atm;
2. el abastecimiento de la raíz con oxígeno a través de la aerénquima, cuando viven en suelos saturados por agua.

La presión osmótica es responsable por la absorción activa y tiene su máxima importancia antes de llegar al "punto de marchitamiento" común, mientras que el problema del oxígeno tiene su máxima importancia más allá de la saturación de campo. Se puede alterar el punto de marchitamiento hasta cierto límite, por medio de una buena nutrición de la planta, permitiéndole crecer en suelos más secos. Pero para la falta de oxígeno no hay adaptación.

Es posible calcular el déficit de agua en el suelo a través de su enraizamiento (11). Este déficit puede ocurrir cuando las lluvias son escasas, cuando la infiltración es deficiente, cuando la percolación está impedida por capas compactadas o adensamientos, o cuando el nivel freático es demasiado bajo para que haya transporte de agua a la superficie.

La influencia del nivel freático sobre el crecimiento radicular

Tanto el nivel freático muy profundo (21, 36, 70, 73, 93), como uno muy superficial (11, 112, 145, 150) pueden constituir limitaciones para el crecimiento radicular (ver capítulo 9).

Si el nivel freático es bajo, la falta de agua es patente y las raíces se concentran en el suelo superficial para la captación de las aguas pluviales que, por lo general, en estas zonas son escasas (146). Pero si el nivel freático es muy superficial, como acontece en muchos suelos de la Amazonia y en partes del nordeste brasileño, limita igualmente la penetración radicular. En la "mata general" (selva tropical), con muchos árboles con raíces respiratorias o raíces tabulares, encontramos el cuadro típico de un nivel freático alto, a veces, que llega hasta la superficie. Las oscilaciones del nivel freático generalmente limitan el enraizamiento del suelo, como lo demuestra la figura 2-11 (11), simplemente por falta de oxígeno en el horizonte encharcado (24).

Esta es la razón de un fenómeno que ocurre en varias regiones de la Amazonia, en Altamira por ejemplo, por el cual los árboles pueden ser derrumbados, literalmente volteados por un Caterpillar Diesel, ya que sus raíces son muy superficiales.

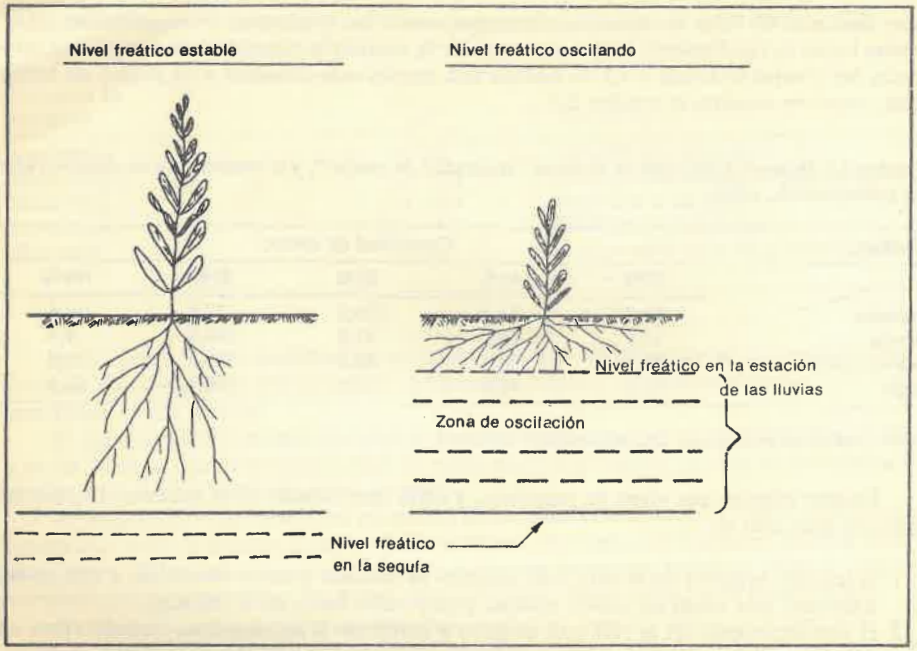


Fig. 2.11a *Influencia de las oscilaciones del nivel freático sobre el crecimiento radicular.*

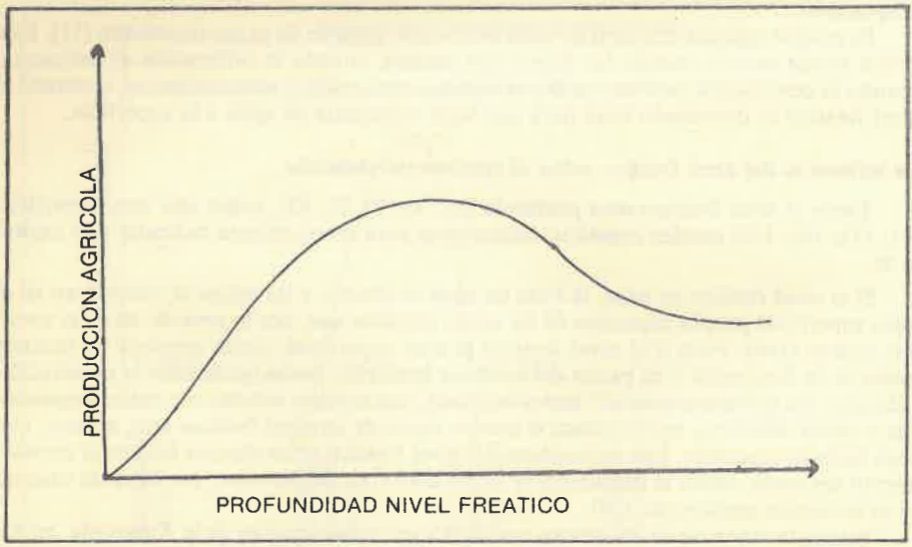


Fig. 2.11b *Influencia del nivel freático sobre la producción* (**Viesser,** *1960*).

La barrera física de las compactaciones

Aunque existan máquinas capaces de remover cualquier suelo para prepararlo para la siembra, esta "remoción" es de poca duración, y a la primera lluvia ya se encostra la superficie de la tierra, como muestran las figuras 7-26 y 7-29 a-b.

El aumento de la densidad del suelo y el confinamiento de las raíces a la capa superficial es común en tierra dedicada a la agricultura (67, 139). Lo mismo ocurre en tierras de pastura permanente (148).

La restricción del espacio enraizado significa la restricción de agua y nutrientes a disposición, ya que el volumen del suelo explorado por la raíz es menor. Y esta situación va empeorando con el correr del tiempo, es decir, a medida que las lluvias destruyen los agregados superficiales y las partículas finas de estos grumos o agregados se "sedimentan", formando una capa compactada que crece de abajo hacia arriba, como muestra la figura 7-17. En el cuadro siguiente, 2-8, se ve la concentración de las raíces en la superficie a medida que corre el tiempo, por las razones arriba citadas.

Cuadro 2.8 *Distribución del sistema radicular de una planta de frutilla en "Latossol Vermelho Amarelo", en dos fases del ciclo vegetativo (***Inforzato,** *1973)*

Prof. del perfil en cm	*A los 105 días de edad*			*A los 201 días de edad*		
	g	%	% acumul.	g	%	% acumul.
0 - 5	24,36	72,6	—	40,78	90,10	—
0 - 10	4,04	12,0	84,6	1,60	3,52	93,62
10 - 15	2,53	7,5	9[illegible],1	1,69	3,72	97,34
15 - 25	1,95	5,8	97,9	0,87	1,91	99,25
25 - 35	0,37	1,1	99,0	0,25	0,55	99,80
35 - 55	0,32	1,0	100,0	0,09	0,20	100,00

Fig. 2.12 *Raíz de remolacha horquillada debido a compactaciones.*

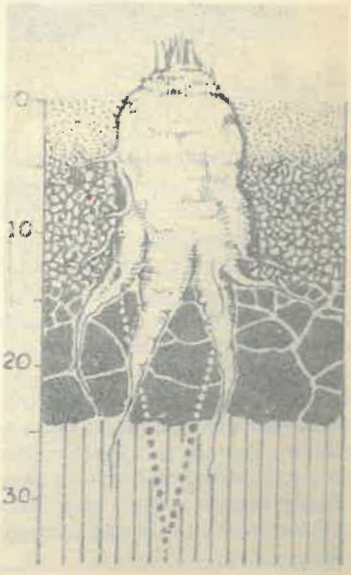


Fig. 2.13 *Esquema explicativo del horquillamiento de la raíz.*

Se verifica que, mientras que con 105 días el 72,6 % de las raíces estaban concentradas en los primeros 5 cm de suelo, después de los 201 días, el 90,1 % de las raíces se encontraban en este espacio.

Las raíces fibrosas se desvían cuando tropiezan contra la capa compactada, penetrando sólo muy pocas en épocas de lluvia. Las raíces pivotantes se bifurcan en forma de horquilla y quedan retorcidas. Las raíces desviadas pueden ser también el efecto de una mayor concentración de aluminio tóxico, cosa que las horquilladas nunca pueden serlo. En las figuras 2-12 y 2-13 se muestra la fotografía de una raíz horquillada y el esquema con sus causas. Allí se ve que la raíz sólo puede penetrar la capa densa por las rajaduras que se forman entre los terrones, desviándose de su camino recto, natural.

Las raíces nunca penetran en un suelo compactado cuando está seco, y una irrigación no siempre consigue mojar el suelo. En una prueba de laboratorio, en tubos con fertilizantes e irrigación idéntica, el agua corrió sólo en las paredes del tubo donde se habían concentrado también todas las raíces, como muestra la figura 2-14. Mientras que en suelo grumoso (izquierda), el agua penetró por todo el volúmen del suelo que, consecuentemente, se presentaba bien enraizado.

Fig. 2.14 *Diferencia de enraizamiento en suelo grumoso y suelo amorfo, sin estructura.*

Estas capas adensadas o compactadas pueden formarse por la presión de las máquinas agrícolas (46, 83, 149), pero generalmente acontecen por la destrucción de los grumos o agregados del suelo, por un manejo agrícola inadecuado (36, 38, 39, 44, 137). **Raney** (1950) muestra en el siguiente cuadro la influencia de diferentes rotaciones y del uso de diferentes máquinas con variación de profundidad de trabajo.

Se puede comprobar que la rotación con mayor cantidad de restos orgánicos contribuye al mantenimiento de una estructura más favorable a la circulación de aire, sólo cuando está incorporada en poca profundidad. Cuando es enterrada hasta 30 cm de profundidad, su efecto es negativo (ver capítulo 6).

La diferencia entre las diversas máquinas es grande, especialmente en cuanto a la densidad aparente del suelo, teniendo las máquinas para remover de gran velocidad, como el arado de disco y la azada rotativa, un efecto peor (ver capítulo 9). Por eso se investiga más si conviene no labrar o hacer una preparación mínima del suelo (50, 51, 52, 138, 139). El efecto es bueno cuando el suelo tiene una densidad aparente baja. Sin embargo, cuando la densidad aparente es alta, lo más indicado es hacer una arada más profunda de la tierra (81).

Cuadro 2.9 *Indice de difusión de oxígeno en varias profundidades del suelo, en dos sistemas de rotación de cultivos (***Raney***, 1950)*

Preparación del suelo	*Presión parcial O_2 en aire del suelo* mg/Hg		*Densidad aparente* g / cm^3		*Humedad del suelo en % de la capac. de campo*		*Indice de difusión de oxígeno*	
	A	B	A	B	A	B	A	B
trabajo hasta 10 cm								
subsolador	141	145	1,27	1,28	19,8	20,2	0,546	0,436
arado de reja	141	145	1,28	1,32	20,0	19,9	0,639	0,568
arado a disco	138	143	1,36	1,33	20,0	19,3	0,377	0,327
azada rotativa	134	141	1,39	1,29	19,6	20,1	0,356	0,358
trabajo hasta								
20 cm subsolador	137	142	1,32	1,34	21,0	19,7	0,428	0,308
arado	138	143	1,31	1,42	22,2	19,9	0,417	0,269
arado a disco	121	131	1,40	1,33	21,3	19,3	0,279	0,215
azada rotat.	121	131	1,48	1,45	21,0	20,0	0,209	0,226
trabajo hasta 30 cm								
subsolador	133	104	1,42	1,49	22,1	22,6	0,172	0,229
arado	133	134	1,45	1,47	22,6	22,5	0,176	0,149
arado de disco	128	129	1,51	1,48	21,0	22,2	0,166	0,253
azada rotat.	126	125	1,50	1,52	21,2	18,9	0,154	0,147

(Obs.: A: rotación con gran cantidad de restos orgánicos. B: rotación con pocos restos orgánicos)

Cuadro 2.10 *"Latossolo", fase arenosa en que la arada profunda tuvo el mejor resultado sobre la producción vegetal (***Leme***, 1956)*

Profund. cm	*Densidad aparente*	*Indice de tenacidad* (I.T. %)
0 - 5	1,65	0,93
5 - 15	1,65	0,63
15 - 30	1,44	1,54
30 - 70	1,46	1,09

(Obs.: La vegetación en este suelo era capim gordura (*Melinis minutiflora.*)

No es posible indicar un determinado tipo de plantación para beneficiar el enraizamiento del suelo, sin tener en cuenta la densidad aparente del mismo, o su índice de tenacidad *(shear strength). No es la técnica en general lo que se necesita, sino que es necesario saber las condiciones del suelo, para saber cuál de las técnicas será la más favorable.*

El suelo compactado ofrece un ambiente pésimo para la raíz que, en la imposibilidad de expandirse, fácilmente sufre la deficiencia de agua, aire y nutrientes. En la figura 2-15 se reunieron todos los factores que influyen sobre la raíz y su crecimiento en suelo muy denso o compactado. Difícilmente podría decirse que uno u otro factor es más decisivo. Nunca en la vida existen factores aislados, sino más bien, factores interligados que provocan uno la modificación de otro, de modo que la mayor densidad del suelo trae aparejada automáticamente la menor difusión de oxígeno (36, 54, 111), la menor disponibilidad de agua (28, 46, 93, 112), el menor desenvolvimiento radicular (7, 27, 35, 39, 53, 56, 57, 90, 99, 101, 115), la peor nutrición (103, 110, 130, 135, 146) y finalmente, y por todo lo anterior, una cosecha

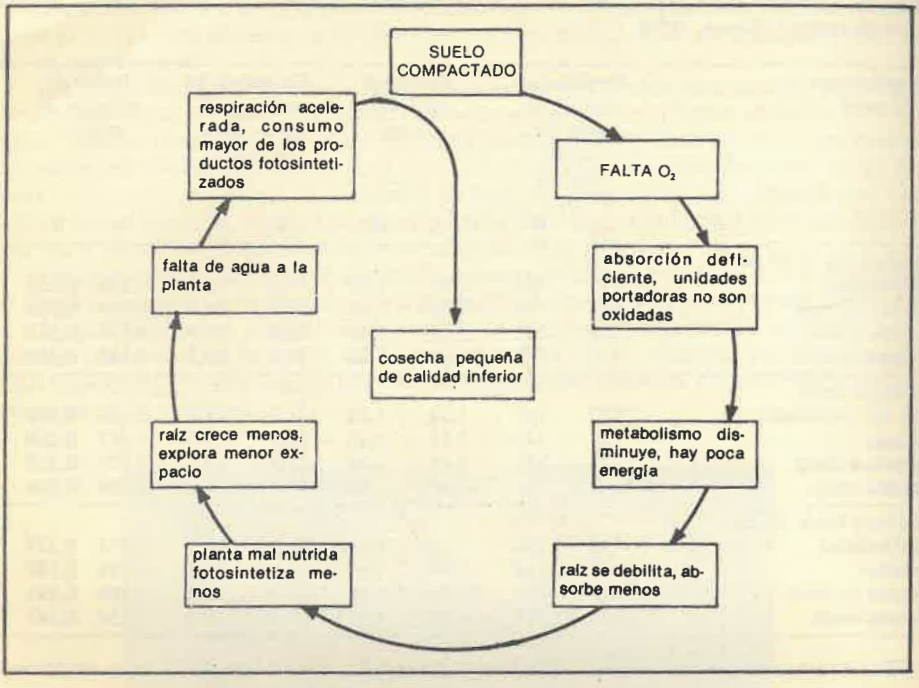


Fig. 2.15 *Efecto de la compactación del suelo sobre las condiciones de crecimiento de una planta.*

reducida (46, 53, 103). Como no existen efectos aislados en nuestra economía, tampoco en la "economía" vegetal existen efectos aislados.

En los trabajos de **Cadima** (1970/71) se puede observar el efecto de capas compactadas sobre el número y diámetro de las raíces y la producción de la planta de cacao, como muestra la figura 2-16. En la medida en que aumenta la tenacidad del suelo (resistencia al corte), disminuye el número y el diámetro de las raíces y disminuye la producción.

Este efecto de la densidad del suelo, inducida por el manejo inadecuado, puede ser esquematizado como en la figura 2-17, mostrando que, con la pérdida del estado grumoso y fofo y la formación de capas compactadas, el desarrollo radicular se torna cada vez menor, pudiendo producir sólo plantas pequeñas (63), de poco valor económico.

La raíz es la base para que la planta pueda producir. En un suelo compactado, donde su desarrollo es reducido, no consigue absorber el agua y los nutrientes que la parte aérea necesita para poder producir. El índice de una buena absorción de agua y nutrientes se encuentra en la bioestructura grumosa del suelo. En campos donde las máquinas agrícolas levantan nubes de polvo durante su trabajo, donde hay erosión cuando llueve y donde se abren rajaduras y grietas cuando hay sequía, las raíces serán reducidas, retorcidas y finas. Y la productividad está perdida, pues el suelo ya no reacciona más, de la manera esperada, a la fertilización (103, 104).

El tamaño de los agregados del suelo, cuya densidad no es conocida, no garantiza aun un desarrollo radicular vigoroso (58), por tratarse muchas veces de pedazos de terrones y no de agregados. Sólo cuando son estables a la acción del agua, los agregados de suelo contribuyen para el mejoramiento de las condiciones radiculares (ver capítulo 7).

Existen técnicas agrícolas, como el replante, que tienden a fortalecer el sistema radicular de las plantas, como en las hortalizas y en el arroz. Sin embargo, cuando la densidad del

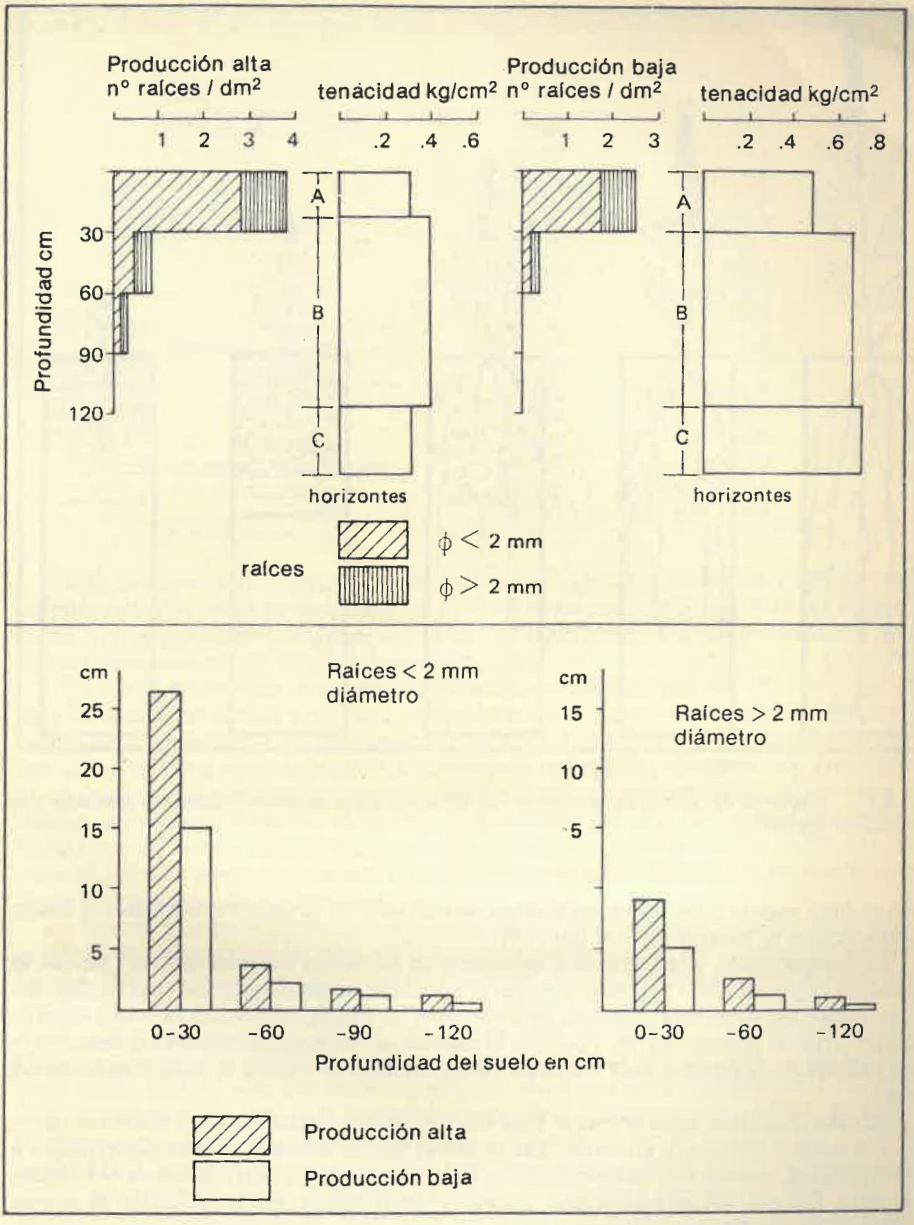


Fig. 2.16 *Efecto de la "tenacidad" del suelo sobre número y diámetro de las raíces de la planta de cacao y su producción* (**Cadima**, *1970/71*).

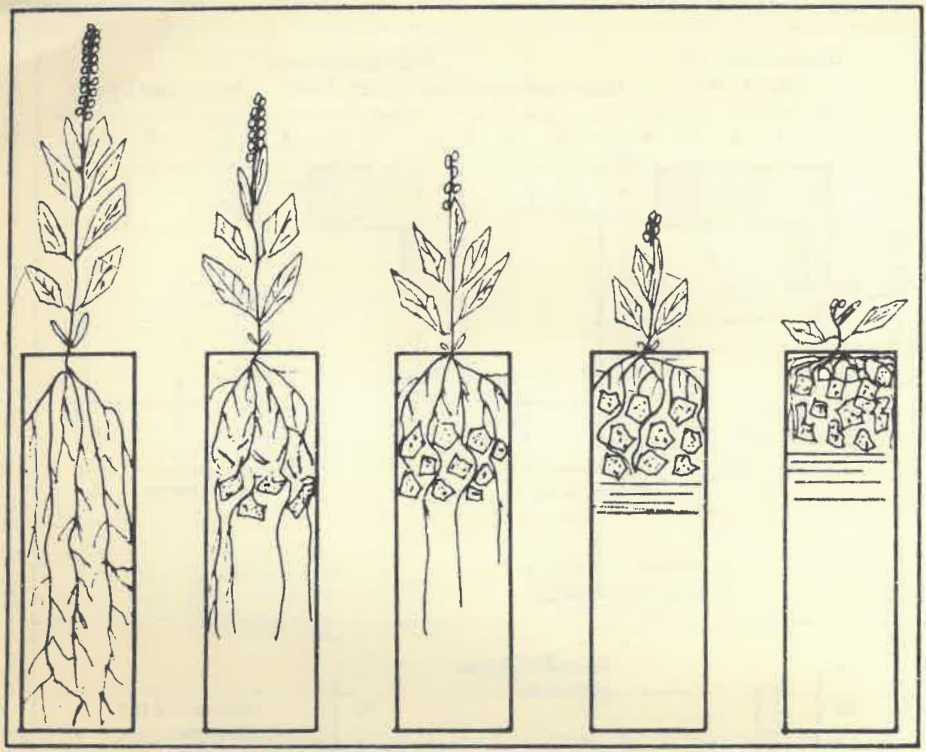


Fig. 2.17 *Esquema del efecto de compactación del suelo sobre el desenvolvimiento radicular y la producción vegetal.*

suelo es muy grande y las raíces encuentran dificultades en su desenvolvimiento, el efecto de esta técnica es insignificante o nulo (59).

La compactación y la formación de costras en los suelos no solamente perjudican la expansión radicular (24, 154), sino también la aparición de las plantas nuevas (14, 60). Estas, en suelos sin estructura grumosa, muchas veces no consiguen romper la costra superficial que formó la primera lluvia, y por eso la falta de germinación no siempre es debida a la mala calidad de la semilla; muy frecuentemente también se debe a la mala condición del suelo.

Se debe distinguir entre preparar muy bien el campo, desmenuzando todos los terrones, y la natural estructura grumosa. Las primeras lluvias indican terrones pulverizados o desmenuzados, cuando hay encostramientos en la superficie. La tierra grumosa es resistente al agua. Por eso, los agregados muy grandes (7 mm) disminuyen la capacidad de aire en el suelo (12a) por ser inestables.

El oxígeno en el suelo

Como muestran la figura 2-15 y el cuadro 2-9, el índice de oxígeno en el suelo depende en todo de su densidad aparente. La razón es que, durante el proceso de compactación, los primeros poros que desaparecen son los macroporos, que justamente sirven para la ventilación (56). Para la capacidad de aire, **Feuerstack** (1960) da el siguiente esquema:

Cuadro 2.11 *Tenor de aire de diversos suelos, medido en la capacidad de campo (***Feuerstack,** *1960)*

Suelo	*Prof. en cm*	*Aire %*
arcilloso rico en calcio	0 - 20	11,9
	20 - 47	3,5
	47 - 65	0,0
	65 - 80	1,9
arcilloso humoso	0 - 20	18,9
	20 - 35	9,4
	35 - 47	10,3
	47 - 57	10,8
	57 - 80	11,8
hidromorf. arenoso	0 - 15	7,8
	15 - 33	7,4
	33 - 46	1,9
	46 - 54	9,1
	54 - 70	10,0
hidromorf. (pseudogley)	0 - 16	5,9
	16 - 28	0,5
	28 - 47	0,9

Este cuadro muestra claramente un horizonte compactado en los dos primeros suelos, después de los 20 cm de profundidad, en el tercer suelo por debajo de los 33 cm de profundidad, y en el pseudogley, abajo de los 16 cm. En estos horizontes con reducidísima tasa de aire, el enraizamiento es prácticamente nulo (78a).

Un suelo productivo debe estar suficientemente aireado (21, 46, 95, 126, 141, 151), libre de sustancias tóxicas y provisto adecuadamente de agua y nutrientes. La raíz absorbe el oxígeno (O_2) y elimina gas carbónico (CO_2) (111). También los microorganismos que viven en la rizosfera, aprovechando las excreciones radiculares, eliminan CO_2 (ver capítulo 6), de modo que el ambiente en seguida estaría saturado de gas carbónico si no hubiese ventilación permanente. Para eso se necesita la circulación del aire, enviando el gas carbónico hacia fuera del suelo y sustituyéndolo por aire fresco, rico en oxígeno (18, 82, 87, 111, 131). Pero el aire sólo puede circular por los poros libres de agua, es decir, en los que el agua se drena por la fuerza de su gravedad.

Mientras que en la atmósfera la concentración de CO_2 es de 0,03 %, en el aire del suelo puede ascender a 1 %, y en casos extremos, hasta a 3 % (18). Cuando un suelo está bien grumoso existe un número suficiente de poros de ventilación para garantizar la oxigenación de la raíz (54, 78a, 116). Sin embargo, cuando el suelo se torna compacto, con la disminución de los poros de ventilación, que siempre son los primeros que desaparecen, el CO_2 se acumula en el suelo y la raíz sufre su efecto desfavorable (33, 86). El gas carbónico no es tóxico para la raíz, por lo menos no lo es hasta una concentración del 3 %, pero lo que perjudica seriamente es la anaerobiosis que esta concentración provoca, ya que una mayor concentración de gas carbónico equivale a una menor de oxígeno (36, 122). Esta anaerobiosis se produce tanto en el suelo compactado o adensado, como en suelos encharcados, y también en presencia de una actividad microorgánica elevada (ver capítulo 6). Así, por ejemplo, un abono verde, enterrado, tiene una descomposición explosiva, que ocurre con mucha facilidad en clima cálido. El resultado es que las bacterias se apoderan de todo el oxígeno del aire del suelo, expulsando el CO_2, producto final de la descomposición, creando de esta manera condiciones anaeróbicas. Por lo tanto, las condiciones anaeróbicas también pueden acontecer en suelo grumoso, después de una aplicación de abonos verdes, de "vinaza"[3] o cualquier otro producto de fácil descomposición.

[3] Subproducto de la fabricación de azúcar. (*J.S.M.*)

Las plantas que siempre viven en ambiente anaerobio, como arroz irrigado, capim-arroz (*Echinochloa crusgallii*), juncos, etc., poseen un sistema de ventilación que transporta oxígeno de las hojas a la raíz (57).

La raíz absorbe del suelo el oxígeno que está disuelto en agua (99). En los climas tropical y subtropical la solubilidad del oxígeno es baja, debido a la temperatura elevada (25). Sin embargo, la necesidad del mismo aumenta como consecuencia de una respiración más activa (94a). Debemos sacar en conclusión que el abastecimiento de la raíz con oxígeno, probablemente, debe ser mayor en clima cálido que en templado. La anaerobiosis del suelo, causada por la compactación de su estructura,se vuelve, por lo tanto, muy desfavorable para los cultivos.

Cuando, en lugar de una respiración aerobia se procesa una respiración fermentativa, la planta produce alcohol, que también es excretado por las raíces (43), alterando la microflora de la rizosfera. De este modo, una costra superficial que impide la circulación de aire en el suelo disminuye el rendimiento del cultivo (31), no porque afecte la parte aérea de la planta, sino porque la raíz estará seriamente perjudicada.

La protección de la superficie del suelo contra el impacto de la lluvia se torna imperiosa para el bienestar radicular y la producción vegetal (14, 60, 69, 80, 133, 134). Cuando la anaerobiosis es la consecuencia de un drenaje deficiente del terreno se forma aldehído salicílico tóxico para la raíz vegetal, pero inocuo para hongos como *Phytium arrhenomanew*, que se multiplican libremente pudiendo atacar a la raíz debilitada (ver capítulo 1). De modo que en suelos pobres de oxígeno, la susceptibilidad de las raíces a las pestes parece ser mayor. Al mismo tiempo la planta tiene que recurrir a una respiración fermentativa o anaeróbica, en la cual la liberación de energía es mucho menor. El metabolismo, por lo tanto, es desacelerado, la fotosíntesis disminuida, la presión osmótica de la raíz es reducida y con ella disminuye su potencial de absorción y movilización de nutrientes (41, 82, 86, 123, 132). Como conclusión, la planta está mal nutrida (82, 159), crece menos y rinde mucho menos.

En la práctica de campo vale esta regla: "cuando una planta muestra señales de deficiencia de casi todos sus nutrientes, casi con certeza que falta oxígeno en el suelo". Y los

Fig. 2.18 *Diferencia de maíz plantado en el camellón de la terraza y en la terraza con idéntica fertilización; la estructura del suelo es diferente.*

suelos con costras superficiales y capas compactadas o "pisos de arado" siempre carecen de oxígeno, por lo que habrá un deficiente desarrollo de la raíz (53, 80, 99).

Tampoco se encuentra explicación para los cambios bruscos de vegetación en un suelo con idéntica fertilidad, el mismo microclima y un nivel freático semejante (7), a no ser los diferentes estados de oxigenación del suelo.

Raramente existen plantas fuertes con raíz débil (56, 130). Junto a la falta de agua, también es responsable por el deficiente desarrollo radicular la falta de oxígeno y de nutrientes (17, 58, 102, 103, 107, 116, 133, 135, 154), que, de una manera general, acontecen en los suelos compactados.

Generalmente se sospecha que hay deficiencia de nutrientes cuando el desarrollo vegetal es débil. La falta de nutrientes no afecta sólo la parte del vegetal que queda sobre el suelo, sino igualmente a la raíz. Esta deficiencia puede ser inducida por la compactación o adensamiento, o puede ser real. En el primer caso, una fertilización surtirá muy poco efecto, como muestra la figura 2-18, presentando una plantación de maíz que recibió idéntica fertilización. La hilera de encima está plantada en la parte elevada entre dos surcos o camellón de la terraza, y la otra, en la parte baja donde la tierra grumosa fue barrida.

LA ABSORCION DE NUTRIENTES Y SU EFECTO SOBRE LA RAIZ

La absorción de los nutrientes depende de:

1. las propiedades genéticas de la planta. Por ejemplo, una variedad de trigo o soja consigue absorber cantidades suficientes de calcio de un suelo ácido, mientras que otra necesita de un encalado, y sólo es capaz de absorberlo cuando lo encuentra en grandes cantidades (6, 40);
2. la nutrición de la planta y las condiciones de metabolización, que dependen también de la sanidad radicular y foliar;
3. los factores ambientales del suelo, incluyéndose aquí las condiciones físicas y químicas, el pH, la temperatura del suelo y la competencia por parte de otras plantas. Por ejemplo, el algodón no absorbe más cuando la temperatura está por debajo de 17° C o por encima de 30° C;
4. el clima, que incluye luz, temperatura, precipitaciones y viento. La raíz vegetal absorbe en dos etapas. La primera es por simple mudanza superficial, donde los cationes traspasan la pared radicular hacia el "espacio aparentemente libre" (AFS). Después entran en la raíz por vía fisiológica (33). Los aniones y cationes se acumulan en la raíz según principios diferentes, pero, de cualquier manera, necesitan parte de las valencias negativas de la superficie radicular saturadas con calcio, de un metabolismo activo, que abastece estas valencias negativas, y una presión osmótica suficientemente alta (32, 86).

En las figuras 2-19 y 2-20 se muestra la acumulación de calcio radioactivo (Ca^{45}) en la envoltura de una raíz, en forma esquematizada del proceso.

Si falta calcio, el plasmalena, es decir, la parte interna de la membrana celular, pierde su semipermeabilidad y se torna más permeable (leaky) (61, 68), permitiendo la entrada de iones, nutritivos o no, según la cantidad existente en el suelo. La raíz pierde su selectividad, causando trastornos fisiológicos muy serios a la planta.

Esta selectividad puede ser demostrada con mayor facilidad en el ejemplo de algas que no son unicelulares. En la figura 2-21 se esquematiza la selectividad de dos algas, una alga de mar y la otra, habitante de agua dulce.

Se observa que los niveles de nutrientes en la célula son semejantes aunque su concentración fuera de la célula sea bastante diferente. Aun existiendo poco cloro en el agua dulce, la acumulación en el alga *Nigella* es apreciable, y, a pesar de existir mucho sodio en el agua de mar, su índice en el alga *Valonia* es bajo.

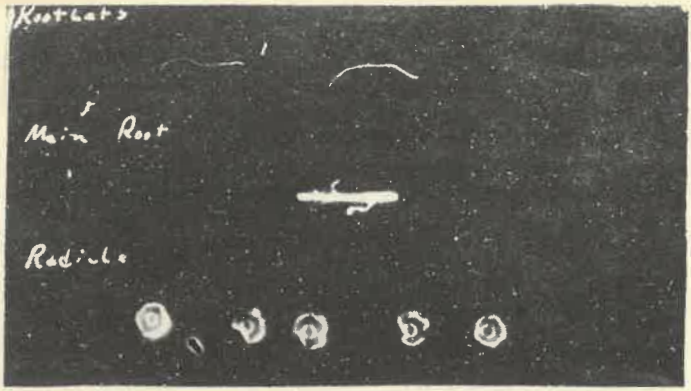


Fig. 2.19 *Calcio radioactivo en la cáscara radicular. (Gentileza* **H. C. Harris,** *1973).*

Esta selectividad se encuentra también en la raíz, permitiendo a las plantas vegetar en los más diversos medios ambientes.

La selectividad de la raíz es mejor cuando el abastecimiento con oxígeno es bueno, simplemente porque la producción de metabolitos y valencias negativas es mayor. Y, como la saturación de parte de estas valencias debería ser por calcio, tanto las plantas acidófilas como las neutrófilas lo necesitan (32), ya sea que se entienda por acidófilo la necesidad de un pH bajo para poder absorber mejor los micronutrientes, como la tolerancia a mayores cantidades de aluminio intercambiable. Cuando falta el calcio, indispensable en la raíz, aparecen los más extraños síntomas de deficiencia e intoxicación (33, 45). Las plantas acidófilas no rehúsan el calcio, pero sí un encalado y la corrección del pH y neutralización de Al y Mn, como también la inmovilización o dificultad de absorción de micronutrientes esenciales para su desarrollo. Existen plantas que soportan mayores concentraciones de aluminio, como las variedades brasileñas de trigo, y otras que necesitan mayores tenores de

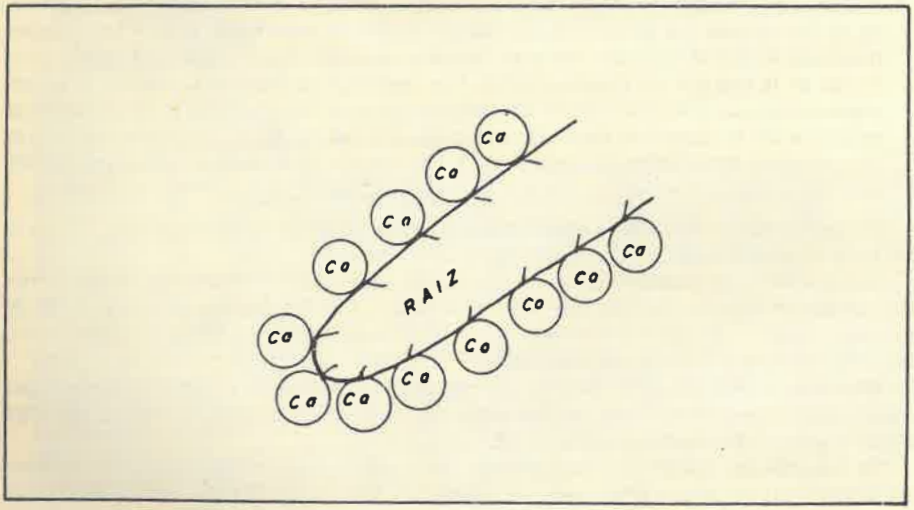


Fig. 2.20 *Esquematización de la absorción de calcio por las valencias negativas de la raíz.*

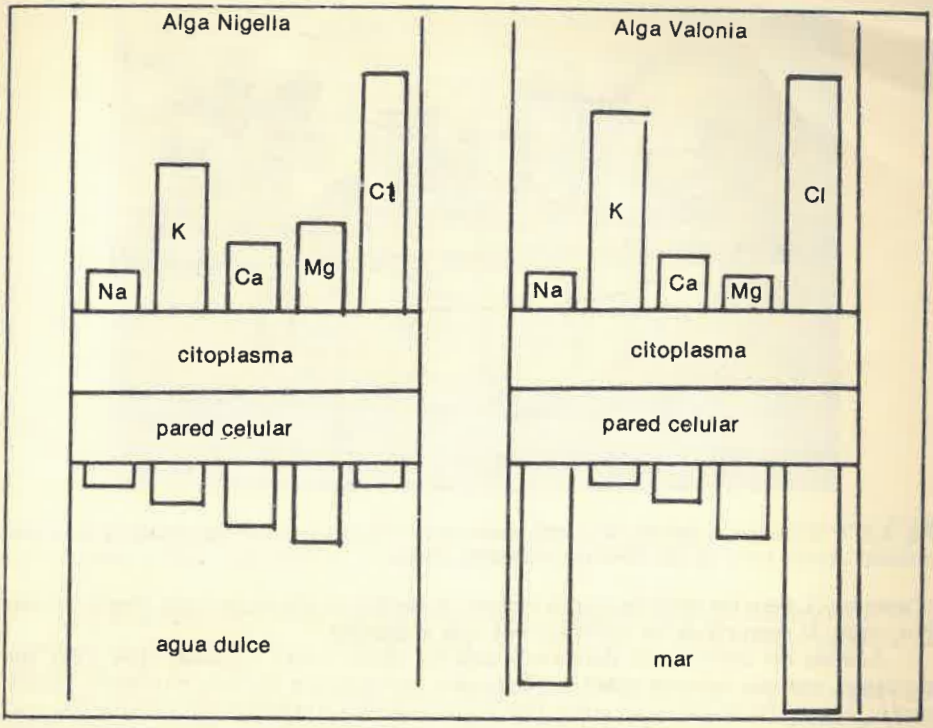


Fig. 2.21 *Absorción selectiva por células en el ejemplo de algas* (**Mengel, *1965).***

cinc, como la "jabuticaba", o de boro, como la papa y la batata, etc. (16, 44, 104). También el cafeto, el gomero, la planta de té, la de cacao y muchas otras plantas tropicales necesitan de calcio, pero son más o menos sensibles a una corrección del pH, prefiriendo los suelos ácidos (5, 49). El calcio, probablemente, sirve también para posibilitar la aproximación de fósforo, azufre y N-nítrico, que son aniones. La mayoría de las plantas tropicales son sensibles a la falta de micronutrientes, pero pueden vivir con un pH oscilante, considerándose extremo el gomero, que crece bien con un pH de 4,5 a 6,7, pero soporta un pH entre 3,0 y 8,0 (49).

Para el cafeto, el pH óptimo se encuentra entre 4,0 y 6,0 (5), pero, como es Rubiácea, no sólo tolera algún aluminio sino también hasta puede llegar a acumular cierta cantidad en sus hojas (55).

Sin embargo, ninguna planta tropical, por más tolerante que pueda ser a la acidez, como por ejemplo la de té, dispensa el calcio (49). Para garantizar la movilización de este nutriente en suelos ácidos, la planta elimina ciertas sustancias que directa o indirectamente son capaces de movilizar nutrientes (ver capítulo 6) (41, 76, 122) y, a veces, hasta de redes cristalinas (17, 41). De esta manera, una planta bien nutrida consigue movilizar más nutrientes que una mal nutrida, sin considerar los microorganismos de la rizosfera, rizoplano y los micorrizas, que en plantas bien nutridas son más activos y más numerosos, movilizando a su vez más nutrientes.

Se reconoce, pues, como condición básica de productividad del suelo, su abastecimiento adecuado de agua, oxígeno y calcio, junto a los otros nutrientes.

Existen plantas que necesitan muy poco oxígeno y calcio, como el "cabelo-de-porco"

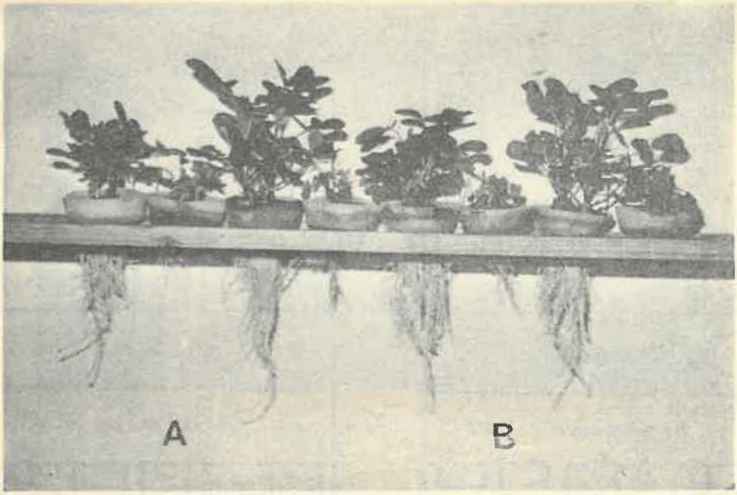


Fig. 2.22 *Efecto de la deficiencia de boro sobre el crecimiento radicular de plantas de maní (cacahuete). A) con boro; B) sin boro. (***H. C. Harris,** *1973).*

(*Carex spp.*), pero los cultivos, por lo general, necesitan un abastecimiento amplio de ambos, como la mayoría de las variedades de soja y algodón.

Además del calcio, cuya deficiencia deja las raíces cortas y gruesas (104, 128), los nutrientes que más influyen sobre el crecimiento radicular son fósforo, nitrógeno, boro y azufre. Hay trabajos que dicen que el fósforo no aumenta el crecimiento radicular, sin embargo, como es necesario para el crecimiento en general, se puede suponer que también sea necesario para el crecimiento de la raíz.

La deficiencia de boro es la que más drásticamente reduce el volumen radicular. Como muestra la figura 2-22, cada segunda planta fue nutrida con omisión de boro y se observa que sus raíces son muy reducidas.

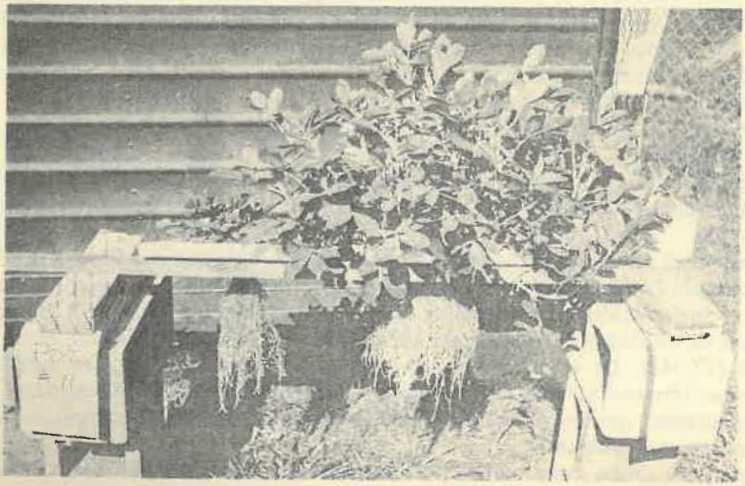


Fig. 2.23 *Efecto de la deficiencia de azufre sobre el desarrollo radicular (***H. C. Harris,** *1973).*

Fig. 2.24 *Efecto de la compactación del suelo sobre el desarrollo del maíz. 1) suelo grumoso; 2) 1/4 compactado; 3) 1/2 compactado; 4) totalmente compactado.* (**Watts, 1973**).

Con la deficiencia de boro, las raíces carnudas y los tubérculos quedan desprovistos de almidones y carbohidratos en general y, por ello, disponen de reducidísimo potencial de absorción (16, 65, 128).

Con la deficiencia de azufre, las raíces se tornan más fibrosas, largas y con pocas radículas. Generalmente son de color oscuro, como muestra la figura 2-23. La planta provista con azufre es mucho mayor, con raíces abundantes y claras porque no encuentran dificultad de absorción y formación de proteínas.

Muchas veces la deficiencia muy seria de fósforo y el exceso de aluminio se manifiestan de manera muy semejante (15), con hojas angostas y de coloración purpúrea. En una prueba hecha en laboratorio, por la compactación del suelo apareció la deficiencia de fósforo y la intoxicación con aluminio (161). En el primer receptáculo a la izquierda, el suelo es grumoso; en el segundo, la cuarta parte inferior del suelo está apisonada, compactada, y el resto es grumoso. En esta vasija el maíz es más vigoroso. Este efecto de capas compactadas, cuando la irrigación es esparcida, como aquí, una vez por semana, fue observado por varios autores y utilizado en Israel para hacer producir el desierto, colocando a 40 cm de profundidad una capa impermeable. En el tercer recipiente, con la mitad del mismo con suelo compactado, el maíz es más débil, amarillento y más alto. En el cuarto recipiente, con todo el suelo apisonado, el maíz es más bajo, con hojas angostas y de color purpúreo (ver también capítulo 8).

Esta prueba demuestra que en un suelo compactado la planta siempre estará mal nutrida, y que la nutrición vegetal, es decir, la presencia de nutrientes sólo tiene importancia a partir del momento en que se solucione el problema de compactación.

La localización del fertilizante y el desarrollo radicular

Aunque en un suelo compactado la difusión de los nutrientes sea mayor (72), y se pueda suponer que la alimentación de las plantas sería mejor, el volumen radicular se reduce, y con él, la posibilidad de absorción (78). De modo que cuando se trata el problema de fertilización y efecto de los nutrientes, se presupone que los problemas de agua, aire y compactación, como barrera física, ya estén resueltos. En caso contrario, el efecto de la fertilización no será productivo ni económico.

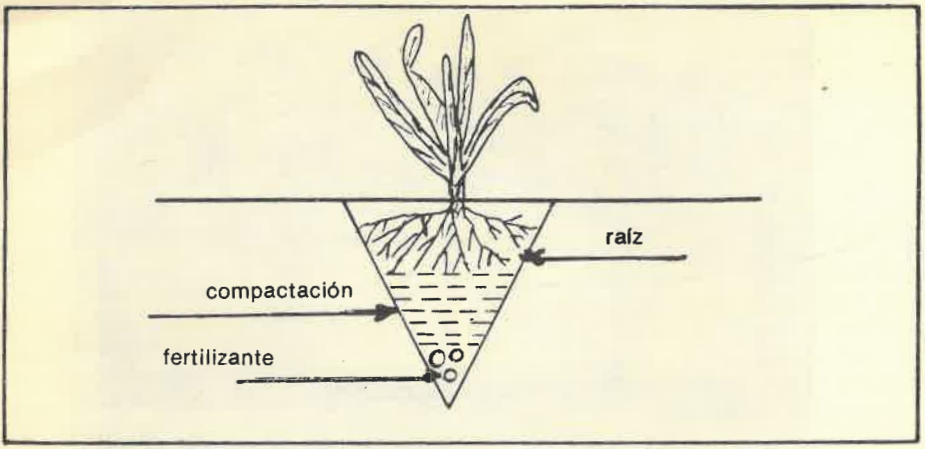


Fig. 2.25 *Efecto de la localización profunda del fertilizante en un suelo de estructura inestable al agua.*

Es opinión generalizada que el nitrógeno reduce la extensión radicular. Sin embargo, no existe ninguna raíz que pueda vivir sin nitrógeno. Lo que ocurre es que la localización del nitrógeno cerca de la semilla y de la superficie, especialmente cuando está aplicado en cobertura, concentra las raíces alrededor del lugar de su aplicación. Con eso se impide la expansión de la raíz, tornando a la planta más susceptible a la sequía, ya qué el agua a su disposición, en el volumen de suelo explorado, no aumenta con la fertilización nitrogenada. Lo mismo ocurre con el fósforo (160). Este efecto es tanto mayor cuanto más pobre es el suelo.

La concentración radicular en la superficie puede hacer que el cultivo se vuelva más susceptible al escardado (120) y a la sequía. Pero, cuando la fertilización es realizada debajo de la semilla o estaca, y las raíces no se concentran en la superficie, como ocurre en los cañaverales, cada vez que se remueva la tierra se facilitará su aireación, beneficiando la producción.

De ninguna manera se debe generalizar respecto a la localización del fertilizante. Cuando éste es colocado en la profundidad del suelo, como acontece en los cultivos de caña de azúcar o de papa, la raíz sólo sigue penetrando en mayor profundidad en busca de nutrientes, cuando el suelo es grumoso. En el caso de la estructura inestable al agua, las primeras lluvias inician la formación de una capa compactada sobre la capa arada, separando la fertilización de la planta, poniéndola fuera del alcance de la raíz, como muestra la figura 2-25. De esta manera se obliga a la raíz a crecer sin fertilizantes (a pesar de que ellos están) y, como la humedad debajo de esta capa compactada es menor, el fertilizante ni siquiera se disuelve, pudiéndoselo encontrar intacto aún después de una cosecha.

EFECTO DEL ESPACIAMIENTO SOBRE EL TAMAÑO DE LA RAIZ

No sólo la localización del fertilizante posee influencia sobre el desarrollo radicular, también la tiene el espaciamiento entre las plantas, en especial, entre congéneres (145). Todos sabemos que con un mayor espaciamiento la planta aumenta su sistema radicular, como se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.12 *Desarrollo radicular en función de espaciamiento (total de las raíces)* (**Walter**, *1974*)

Cultivo	*Plantas individuales 3 m de distancia*	*Plantas en líneas de 15 cm de distancia*
centeno	79.031 m	975 m
trigo	71.111 m	867 m
avena silvestre	86.334 m	977 m

En plantíos consorciados (de más de una especie), el efecto de la raíz de otra especie no siempre influye de manera desfavorable sobre el desenvolvimiento radicular. Muchas veces las raíces de especies diferentes forman una trama espesa, pudiendo enraizar el mismo espacio de suelo (1, 79, 147). Este sistema permite el desarrollo de plantas enormes, como los árboles de la hiléia amazónica, selva cerrada en suelo pobre. Se sabe que en 1 ha de selva virgen, rara vez existen más de tres ejemplares de una misma especie de árboles (ver capítulo 10).

Sin embargo, no todas las raíces están limitadas de la misma manera por alguno de estos factores enunciados anteriormente. Compactación, oxígeno, agua y nutrientes limitan el desenvolvimiento radicular, según la especie y variedades y el propio potencial radicular.

EL POTENCIAL DE LA RAIZ

Se desarrollan cultivos con un potencial de producción cada vez mayor, pero se olvida que una variedad productiva es una variedad exigente (19). No es suficiente plantar un cultivo más productivo y fertilizar como de costumbre. Los sembradíos más productivos, generalmente, poseen raíces más débiles, menos potentes, y necesitan suelos de mejor estructura, con buena aireación, agua fácilmente disponible, ausencia de sustancias tóxicas y presencia de todos los nutrientes esenciales, en cantidad mayor.

Suelo productivo es aquel en que la planta consigue absorber y metabolizar más sustancias en menos tiempo. Pero para poder hacerlo, ella necesita que todo le sea fácilmente disponible, y eso sin interrupción de la absorción por sequía, o estancamiento de agua, o temperaturas muy elevadas. Exige que todos los factores de producción sean óptimos.

La "ley del mínimo" actualmente todavía vale y, si un único factor de la producción fuere deficiente, como por ejemplo el oxígeno del suelo, toda la producción será baja.

El problema es preparar el ambiente para la raíz, la parte aérea la acompañará.

Pero la rusticidad de la raíz no sólo es diferente entre las variedades, como será mostrado en el capítulo 8, sino también entre los cultivos. Así, de los cereales, el trigo es el más exigente, siendo seguido por el maíz, y luego por el sorgo. En los EE.UU. se considera la cebada como el cereal más exigente, con el sistema radicular más débil, siendo seguido por el trigo, y éste, por el centeno. Eso significa que la tierra que no sirve más para trigo, puede muy bien dar avena o centeno.

En Brasil, la tierra que no sirve más para trigo, todavía puede dar buen maíz, y la que no sirve para maíz, todavía da un excelente sorgo.

No todas las raíces poseen el mismo poder de penetración ni de movilización, ni de absorción. Hay unas que son capaces de rajar piedras, y otras que sólo avanzan en la arena. Hay raíces que movilizan nutrientes hasta de la red cristalina de minerales, y otras que necesitan todo en forma soluble, y en abundancia. Existen cultivos que consiguen crecer en suelos que serían altamente desfavorables para otros. **Sheffer** (1955) da una relación aproximada del potencial radicular de algunas plantas de cultivo que, sin embargo, cambia según las variedades utilizadas.

Aparentemente el algodón está entre los cultivos de pequeño potencial radicular, mientras que el arroz está entre los de potencial muy grande.

Cuadro 2.13 *Potencial de movilización de nutrientes por la raíz de cultivos agrícolas* (**Scheffer y Welte,** *1955*)

Cultivo	*Potencial radicular*
cebada (*Hordeum L.*)	muy pequeño
trigo (*Triticum L.*)	pequeño
avena (*Avena sativa L.*)	pequeño
centeno (*Secale cereale L.*)	medio
maíz (*Zea mays L.*)	medio
papa (*Solanum tuberosum*)	grande
mostaza (*Sinapis arvensis*)	grande
girasol (*Helianthus annuus*)	muy grande
alfalfa (*Medicago sativa*)	muy grande
sorgo (*Sorghum vulgare*)	muy grande
trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum*)	muy grande

Según el potencial radicular, se organizan las rotaciones de cultivos como, por ejemplo, algodón-maíz-sorgo. Pero al finalizar una rotación debe entrar un cultivo que recupere el suelo, como leguminosas y gramíneas de porte pequeño. Las leguminosas especialmente tienen un gran poder de movilizar fósforo (19, 69), como "kudzú" (*Pueraria phaseoloides*), caupí o "cowpea" o frijol (*Vignia sinensis*), mucuna (*Stizolobium spp*), guandú (*Cajanus spp*) y otras. Aparte de eso, ellas también fijan el nitrógeno de la atmósfera.

Las gramíneas de porte pequeño, es decir, las forrajeras, que consiguen "cerrar" el suelo, como pasto pangola, pasto estrella, pasto miel (*Paspalum notatum var.*), *Brachiaria* y otros, cuando están convenientemente manejadas, especialmente cuando son usadas para corte, consiguen mejorar la estructura del suelo y con ello tomar los nutrientes más disponibles (161). Parece, pues, que el potencial de movilización depende mucho de las excreciones radiculares (41, 123), de la microflora trófica (ver capítulo 6) y de la presión osmótica de la raíz (122).

Por último, pueden existir en el suelo sustancias tóxicas que llegan a perjudicar a la raíz, su desarrollo y, más aún, su potencial de absorción.

ALUMINIO TOXICO EN LA RIZOSFERA

La acumulación de aluminio en cantidades tóxicas debajo de la capa compactada (46, 80) en el suelo, al que no le llegó el efecto del encalado (8, 9), hace que muchas plantas no consigan desarrollar sus raíces en estas capas (117, 118). Pero también se sabe que la toxicidad del aluminio tiende a decrecer con el aumento de saturación del complejo intercambiable con otros cationes (18, 89).

En Brasil ya existen muchas variedades adaptadas a convivir con concentraciones mayores de aluminio, como son casi todas las de trigo, varias de soja, maíz, etc. En la figura 2-26 se muestra el comportamiento de 5 variedades de trigo brasileño contra 4 variedades de trigo mejicano (oriundas de suelos neutros a alcalinos), en suelos con saturación variable de aluminio.

Aparte de la tolerancia de la CTC* a mayores saturaciones de aluminio, muchas raíces desarrollan su mecanismo de defensa. De esta manera, algunas consiguen almacenar el aluminio, para que no pase a la parte aérea en mayores concentraciones (157, 162). Otras excretan sustancias que aumentan el pH de su alrededor, precipitando el aluminio tóxico en el suelo (155, 156).

* En realidad en español sería CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico). (*N. T.*)

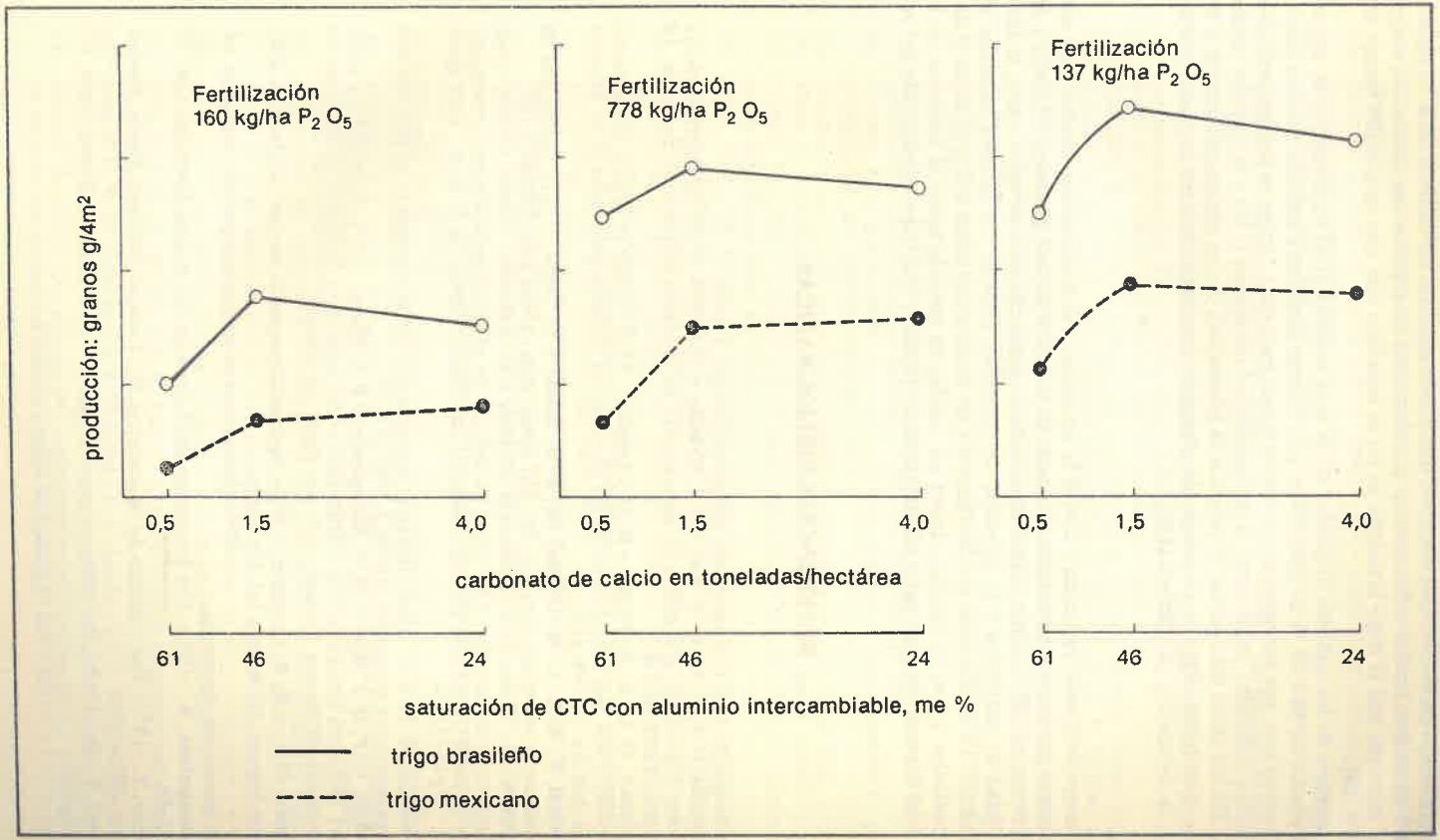


Fig. 2.26 *Efecto del encalado y de la saturación del complejo intercambiable con aluminio sobre el rendimiento del trigo, adaptado y no adaptado a suelos ácidos* (**Salinas**, *1975*).

La saturación de la CTC con aluminio que puede soportar un cultivo, varía de especie a especie y de cultivo a cultivo. La cebada generalmente no soporta una saturación mayor del 5 %, mientras que el trigo brasileño ya no se beneficia con una saturación menor del 46 % (117, 89).

La mayoría de los cultivos tropicales no es muy sensible al Al intercambiable, soportando alrededor de 36 a 46 % de saturación. Las plantas sensibles a concentraciones mayores de aluminio que, por consiguiente se vuelve tóxico para ellas, tienen su sistema radicular drásticamente reducido, tanto como la permeabilidad del mismo (156) y la división celular inhibida. En los casos más graves se produce la plasmólisis de las células radiculares y las plantas se marchitan. Pero la presencia de aluminio intercambiable no implica, necesariamente, la deficiencia de fósforo (159).

Resumen

El desenvolvimiento radicular y con él la nutrición y el rendimiento vegetal, más allá de los factores genéticos y climáticos, depende de la bioestructura grumosa del suelo y de los factores que de allí resultan, como un adecuado abastecimiento de agua y aire, la fácil disponibilidad de nutrientes y la ausencia de sustancias tóxicas. La sanidad radicular es imprescindible. La localización del fertilizante y las técnicas agrícolas influyen sobre el desarrollo radicular y, por lo mismo, deben ser usadas en consideración al bienestar de la raíz, del cual depende en gran parte un metabolismo rápido y una buena producción del vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Aichinger, E.** -1951- *Angewandte Pflanzensoziologie, 1:1-56.*
2. **Almeida, D'A, L. de; E. A. Bulisani, S. Myasaka e. o.** -1975- Efeito da incorporação de massa vegetal, da adubação e do espaçamento na produção do feijoeiro. *Bragantia, 14 (único):XLIII-XLVII.*
3. **Alderich, D. G; E. R. Parker e H. D. Chapman,** -1945- Effect of several nitrogeneous fertilizers and soil amendments on the physical and chemical properties of an irrigated soil. *Soil Sci. 59:299-312.*
4. **Amaral, F. A. L; L. M. Oliveira, de; J. D. Galvão e C. Vieira,** -1977- Localização de fertilizantes na cultura do feijão. *An. XIII Congr. bras. ciência solo, Vitória, p 162.*
5. **Amorim, H. V. de; L. C. Scoton; H. P. Haag e E. Malavolta,** -1968- Estudos sobre alimentação do cafeeiro. XX: Efeito da variação do pH no desenvolvimento e composição química do cafeeiro *(Coffea arabica L. var. Mundo Novo). A. E. S. A. "Luiz Queiroz" XXV:121-34.*
6. **Arminger, W. H. e. o.** -1968- Different tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J. 60(1):67-70.*
7. **Askew, G. P; D. J. Moffet; R. F. Montgomery e P. L. Searly,** -1971- Soils and soil moisture as factors influencing the distribution of the vegetation formation of the Serra do Roncador. *III Simpos. Cerrado, USP, São Paulo, pp 150-60.*
8. **Bandy, D. E. e R. B. Musgrave,** -1975- Agronomic-economic research on tropical soils. Ann. Rep. ed. US Agency Int. Developm.
9. ---------e---------. -1975- Management of water stress periods. *Ann. Rep ed. US Agency Int. Developm.*
10. **Baumgartner, A.** -1953- Das Eindringen des Lichtes in den Boden. *Forstwiss. Cbl. 72: 171-84.*
11. **Batey, T.** -1973- Uso e manejo do solo tropical. No: *Curso de Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo, UFSM/RGS.*
12. **Baver, L. D.** -1968- The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia, 32: 383-413.*

12a. ---------, -1956- Soil Physics. *3 ed Wiley, New York.*

13. **Bellini, K,** -1954- Entwicklung und probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. *Mitt. Inst. Wasserwirt. u. Landwirt. Wasserbau: T. H. Hannover.*
14. **Bennett, O. L; D. A. Ashley** e **B. D. Doss,** -1964- Methods of reducing soil crusting to increase cotton seedling emergence. *Agron. J. 56:162-65.*
15. **Bergmann, W.** e **P. Neubert,** -1976- Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. *Fischer, Jena.*
16. **Betoni, J; F. Lombardi Neto** e **B. Benatti Jr.** -1976- Estudo, em lisímetros monolíticos, de perdas de água e evapotranspiração em três tipos de solos sob diferentes condições de uso. *Bragantia, 35(12):123-45.*
17. **Bezerra, L. O. de** -1967- Estrutura física do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. *Bol. Téc. 9; Pesq. agropec. bras. Vol. 2.*
18. **Black, C. A.** -1968- Soil-Plant relationship. *Wiley, New York.*
19. **Blanchet, R.** -1972- Fertilizer use and ecological factors. *Sciente. Varia, 38:363-88.*
20. **Brooks, R. R.** -1968- Bio-Chemical prospecting in New Zealand. *N. Zealand Sci. Rev. 26:9-12.*
21. **Buchholz, F.** -1960- Beiträge zur Dynamik chemischer Grundwassereigenschaften und zum Bodenfeuchtigkeitsverlauf in Grundwasserbeeinflussten Sandböden unter Waldbestockung. *Tese, Univ. Eberswalde.*
22. **Burstrom, H.** -1953- Studies of growth and metabolism of roots. *Physiol. Plantarum, 6:260-276.*
23. **Caballa, R. P; E. R. Miranda, de; M. B. M. Santana** e **C. J. L. Santana,** -1975- Exigências nutricionais e fertilização do cacaueiro. *CEPLAC, Bol. Téc. Nº 30.*
24. **Cadima, A. Z.** e **P. T. Alvin, de.** -1970/71- A oscilação do lençol freático e a produção do cacaueiro. *No: CEPEC, Inf. Téc.: 118-119.*
25. **Cannon, W. A.** -1949- A tentative classification of root systems. *Ecol. 30/4.*
26. **Clark, F. E.** -1949- Soil microorganisms and plant roots. *Adv. Agron. 1:245.*
27. **Cerney, V.** -1966- Alteration of physical state of soil and its effect on plants. *Sb. Ref. mzin. Véd. Symp. Brné, pp 77-91.*
28. **Cogo, N. P.** e **M. Guerra,** -1977- Umidade do solo e rendimento das culturas em experimentos em casa de vegetação. I: sorgo *(Sorghum vulgare)* em solos Vertissol, Latossol roxo distrof. e podzólico verm. amar. *XVI Congr. bras. ciência solo, São Luís, p 23.*
29. **Dittmer, H. J.** -1937- a quantitative study of roots and root hairs of a winter rye plant *(Secale cereale). Am. J. Bot. 24:417-20*
30. **Donahue, R. L; J. C. Schickluna** e **L. S. Robertson,** -1971- Soils, an introduction to soils and plant growth. *3 ed. Prentice Hall, New Jersey.*
31. **Duley, F. I.** -1939- Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4:60-64.*
32. **Epstein, E.** -1962- Mutual effect of ions in their absorption by plants. *Agrochim. 6:293-322.*
33. - - - - - - - -, -1972- Mineral nutrition of plants; principles and perspectives. *Wiley, New York - London.*
34. **Edwards, W. M.** e W. E. Larson, -1969- Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. *Transact. ASAE 12:463-65 e 470.*
35. **Ferreira, S. L. da; C. P. Pereira** e **A. A. O. Melo;** -1977- Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacau *(Theobroma cacao L.)* e na penetração das raízes. Rev. *Theobroma, 7(1):13-9.*
36. **Feuerstack, W.** -1969- Bodenkundliche Kennzeichnung schwerer Böden zum Zwecke der Beurteilung ihrer Bewirtschaftungsunterschiede. *Tese, Univ. Hohenheim.*
37. **Flaig, W.** e **K. Haider.** -1961- Reaktionen mit oxydierenden Enzymen aus Mikroorganismem. *Planta médica. Z. Arzneipfl. Fschg. 9:123-39.*
38. - - - - - - - -, -1968- Uptake of organic substances from soil organic matter by plants and their influence on metabolism. *Scient. Varia, 32:723-70.*
39. **Fox, F. L; J. E. Weaver** e **R. C. Lippe,** -1953- Influence of certain soil characteristics upon distribution of roots of grasses. *Agron. J. 45 (12):583-89.*
40. **Foy, C. D; W. H. Arminger; A. L. Fleming** e **C. F. Lewis,** -1967- Differential tolerance of cotton varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J. 59:415-18.*
41. **Frenzel, B.** -1957- Zur Abgabe von Aminosäuren und Amiden an das Nährmedium durch Wurzeln von *Helianthus annuus. Planta, 49:210-16.*

42. **Fukuda, H.** -1955- Air and vapor movement in soil due to wind gustiness. *Soil Sci. 79: 249-56.*
43. **Fulton, F.** e **H. Erikson,** -1964- Em: Mengel, 1965, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *Fischer, Jena.*
44. **Gauch, H. G.** e **W. M. Dugger,** -1953- The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiol. 28:257-73.*
45. **Geisler, G.** -1968- Uber den Einfluss von Unterbodenverdichtungen auf Luft und Wasserhaushalt des Bodens und auf das Wurzelwachstum. *Landw. Forsch. Sonderh. 21:61-69.*
46. **Gill, W. R.** -1971- Economic assessment of soil compaction. Em: Barnes, Compaction of agricultural soils. ed. *Amer. Soc. Agric. Engin. St. Joseph, Michigan.*
47. **Glauser, R.** e **H. Jenny,** -1960- Two phase studies on availability of iron in calcareos soils. *Agrochim. 4:263-71.*
48. **Glimeroth, G.** -1952- Wasserhaushalt des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzelausbildung einiger Kulturpflanzen. *Z. Acker - u. Pflanzenb. Berlin, 95:1-10.*
49. **Geus, J. G. de** -1973- Fertilizer Guide for the Tropics and Subtropics. *Centre d' Étude de l' Azote, Zürich, pp 531-69.*
50. **Goepfert, C.F.** -1974- Avaliação de métodos de preparo do solo para a cultura de soja. *An. II Reun. an. conj. pesq. soja, Porto Alegre, p 7.*
51. - - - - - - - -, -1976- Preparo do solo na cultura da soja. I *Sem. integr. pesq. agropec. e extens. Porto Alegre, p 132-38.*
52. **Gomes, A. S; J. F. Patella** e **E. A. Pauletto,** -1977- Efeitos de sistema e tempo de cultivo na estrutura de um solo podzólico vermelho amarelo. *XVI Congr. bras. ciência solo. S. Luiz, p 14.*
53. **Görbing, J.** -1944- Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. *Landbuchverlag Hannover.*
54. **Gordon, M.** -1955- Das Porenvolumen von Torfmull. *Torfnachricht. 6:5-6.*
55. **Goodland,** R. -1971- Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simpos. Cerrado, Edit. USP. São Paulo.*
56. **Grable, A. R.** e **E. G. Siemer** -1968- Influence of bulk density, aggregate size and water tension on oxygen diffusion, redox potential and longitudal growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(1):180-86.*
57. **Greenwood, D. J.** -1969- Effect of oxygen distribution in the soil on plant growth. Em: Root growth, de **W. J. Wittington,** *Butterworth, London.*
58. **Grohmann, F.** -1967- Efeito e tamanho de agregados sobre o crescimento e sistema radicular de milho. *Agronômico, 19:4-27.*
59. **Guimarães, G.** e **R. Inforzato,** -1973- Desenvolvimento do sistema radicular de arroz semeado diretamente e plantado por mudas, em duas séries de solo do Vale do Paraíba.
60. **Hanks, R. J.** -1960- Soil crusting and seedling emergence. *7th Congr. Soc. Soil. Sci. Trans. 1:340-46.*
61. **Hanson, J. B.** -1960- Impairment of respiration, ion acumulation and ion retention in root tissue treated with ribonuclease and ethylene - diamine tetraacetic acid. *Plant Physiol. 35:372-79.*
62. - - - - - - - -, e **O. Biddulph,** -1953- The diurnal variation in the translocation of minerals across bean roots. *Plant Physiol. 28:356-70.*
63. **Harris, H. C.** -1973- Polígrafos sobre: Micronutrientes e sua influência sobre o "root-shoot ratio". *C. Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo, UFSM/RGS.*
64. **Harris, W. L.** -1971- The soil compaction process. Em: Compaction of agricultural soils, de **Barnes, K. K.** . *Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph, Michigan.*
65. **Haynes, J. L.** e **W. R. Robbins,** -1948- Calcium and boron as essential factors in the root environment. J. *Amer. Soc. Agron. 40:795-801.*
66. **Hoagland, D. R.** -1944- Lectures on the inorganic nutrition of plants. *Chron. Botanica, Co. Waltham, Mass.*
67. **Inforzato, R.** e **H. A. A. Mascarenhas,** -1969- Estudo do sistema radicular de soja *(Glicine max. (L) Merrill.)* em solo latossólico roxo adubado e sem adubo. *Bragantia, 28(13): 75-80.*
68. **Jacobson, L; D. P. Moore** e **R. J. Hannapel,** -1960- Role of calcium in absorbtion of monovalent cations. *Plant Physiol. 35:352-58.*

69. **Jordan, H. V; S. P. Crocket e C. E. Bardshy Jr.** -1956- Some effects of kudzu versus continuous corn on soil properties and crop yields. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20(2):225-27.*
70. **Klapp, E.** -1954- Ertrag von Pflanzengesellschaften in Beziehung zu Grundwasser und Nährstoffversorgung. *Ztrbl. Vegetations Kart. Stolzenau,* Nº 8
71. ---------, -1956- Wiesen und Weiden, *3 ed Parey, Berlin-Hannover.*
72. **Kemper, W. D; B. A. Stewart** e **L. H. Porter,** -1971- Effects of soil compaction of agricultural soils. Em: Compaction of agricultural soils, de **Barnes,** K. K. *Amer. Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph. Michigan.*
73. **Koehne, W.** -1948- Grundwasserkunde. *2 ed Schweizerbart, Stuttgart.*
74. **König, F.** -1929- Untersuchungen über den Einfluss des Grundwassers auf die Entwicklung eines Kleegras-Gemisches. *Landwirtsch. Jhb. 69:209-52*
75. **Kretzel, Z.** -1966- Rhizosphere microrganisms as a factor influencing resistance to plant infection. *Acta microb. Polonica, 15:163-72.*
76. **Katznelson, H. A; J. W. Ronatt** e **T. M. Payne,** -1955- The liberation of aminoacids and reducing compounds by plant roots. *Plant &Soil, 7:35-48.*
77. **Krivenkov, N. F.** -1968- Effect of density of derno podzolic soils on nutrient uptake by plants. *Agrokhimiya, 11:69-76.*
78. **Kupper, A; F. Grohmann** e **C. M. Franco,** -1977- A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. *An. congr. bras. pesq. cafeeira. Guarapari, E.S.*
78a. **Koepf, H.** -1966- Die Bodenluft. Em: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, *Scharrer* & **Linser,** *Springer, Wien.*
79. **Kutschera, L.** -1960- Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. *DLG Verlags GmbH, Franfurt/Main.*
80. **Larson, W. E.** e **R. R. Allmaras,** -1971- Management factores and natural forces related to compaction. Em: Compaction of agricultural soils, de **Barnes, K. K.** *Amer.Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph. Michigan, pp 367-427.*
81. **Leme, H. A, de;** -1956- Contribuição para o estudo da influência da profundidade de trabalho do arado na produção agrícola. *An. E. S. A. "Luiz Queiroz", pp 97-111.*
82. **Letey, J. L; H. Stolzey, O. R. Lunt** e **V. B. Youngner,** -1964- Growth and nutrient uptake of Newport bluegrass as affected by soil oxygen. *Plant & Soil, 20:143-48*
83. **Lieshout, J. W. van,** -1960- Invloed von het boden milieu op outwikkeling en activiteit von het wortselstelsel. *Versl. Landbowkund. onderz. Wageningen, Nº 6618.*
84. **Lochhead, A. G; M. J. Timonin** e **P. H. West,** -1940- The microflora of the rhizosphere in relation to resistance of plants to soil born pathogens. *Sci. Agric. 20:414-18.*
85. **Machado, J. A.** e **A. C. R. Brum,** -1977- Efeito de sistemas de cultivo na alteração de algumas propiedades físicas do solo. *XVI Cong. bras. ciência solo, São Luiz, p 13.*
86. **Mengel, K.** -1965- Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *2 ed, Fischer, Jena.*
87. **Michael, G.** e **W. Bergmann,** -1954- Bodenkohlensäure und Wurzelwachstum. *J. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 65:180-94.*
88. **Milniczuk, J.** e **I. Anghononi,** -1975- Avaliação preliminar na utilização das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais dos Estados de RS e SC. *Ata 3º Reun. conj. pesq. soja, Porto Alegre.*
89. **Minotti Blois, R; A. F. Castro, de** e **J. P. Vavra,** -1971- Estudos de calagem conforme a relação de alumínio trocável para bases trocáveis. *An. XIII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória, pp 166-67.*
90. **Mitchell, R.** e **W. J. Russell,** -1971- Root development and rooting pattern of soybean *(Glycine max (1) Merrill.)* evaluated under field conditions. *Agron. J. 63(2):313-16.*
91. **Mitchell, J. K.** -1956- The fabric of natural clays and its relation to engineering properties. *Highway Res. Board Proc. 35:693-713.*
92. **Mitscherlich, E. A.** -1949- Bodenkunde. *5 ed Parey, Berlin*
93. **Moltz, J. F.** -1971- Interaction of water uptake and root distribution. *Agron. J. 63(4): 608-10.*
94. **Morais, F.I; C.J.L.Santana, de** e **R.E.Chepote Silva,** -1977- A fertilização do cacaueiro no Brasil. *CEPLAC, Bol. Téc. 55.*
95. **Nöring, F.** -1951- Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. *Gesundheits Ing. (München), 72:190-91.*

96. **Odén, S.** -1957- Forslag till Klassifikation av macropores. *Kengl. Skogs Lanbr. Acad. Tidskr. 96:297-313.*
97. **Panabokke, C. R;** e **J. P. Quirk,** -1957- Effect of initial water content on stability of soil aggregation in water. *Soil Sci. 83:185-95.*
98. **Pearson, R. W.** -1965- Soil environment and root development. Em: Plant environment and efficient water use. *Edit. Soc. Agron e Soil. Sci. Soc. Amer. Madison, Wis.*
99. **Périgaud, S.** -1965- Effect du resistance mechanique et du manque de oxygène sur la croissance des racines. *Compt. Rend. Acad. France, 51:1209-20.*
100. **Phillips, R. E.** e **D. Kirkham,** -1962- Soil compaction in the field and corn growth. *Agron. J. 54:29-34.*
101. **Primavesi, A;** -1962- O diagnóstico bio-físico da terra. *Imprensa Univ. Sta. Maria/RS.*
102. - - - - - - - - e **A. M. Primavesi,** -1964- Factores responsible for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa Estruturada soils in eastern Brasil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(5):578-80.*
103. - - - - - - - -, -1965- Weizenertrage in Beziehung zur Bodenstruktur und Wurzelentwicklung. *Bodenkult. 1(2):50-8*
104. - - - - - - - - e A. M. Primavesi, -1965- Deficiências minerais em culturas. *Globo, Porto Alegre.*
105. - - - - - - - - e - - - - - - - -, -1965- A biocenose do solo na produção vegetal. *Palotti, Sta. Maria/RS.*
106. - - - - - - - -, -1966- Recuperação de solos improdutivos por métodos biológicos. *Progr. Biol. d. Suelo, Bahia Blanca, UNESCO, Montevideo, pp 83-96.*
107. - - - - - - - - e A. M. Primavesi, -1968- Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 253-68.*
108. **Primavesi, A. M.** e **J. A. Machado,** -1968- Influência da microflora trófica da cultura precedente sobre o trigo. *II? Col. Latinam. Biol. Suelo, UNESCO, pp 100-101.*
108a. - - - - - - - -, -1972- Condições ecológicas de Mio-Mio *(Baccharis coridifolia). Relatório de pesquisa à FAPERGS.*
109. **Primavesi, O;** -1974- Comparação da constituição química de variedades brasileiras e estrangeiras de trigo e soja, criadas em hidroponia. *Relatório à CAPES.*
110. **Purcino, C. A. A.** e **L. Ferreira ,** -1974/75- Profundidade de aração, modo de aplicação e doses de adubação NPK na cultura algodoeira *(Gossypium hirsutum L.)* em Minas Gerais. *Projeto Algodão, (EPAMIG, ESAL, UFMG e UFU) Rel. an.*
111. **Raney, W. A.** -1950- Field measurement of oxygen diffusion through soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14(1):61-65.*
112. **Reičosky, D. C; R. J. Millington, A. Klute** e **D. B. Peters,** -1972- Pattern of water uptake and root distribution of soy bean *(Glycine max (L) Merrill)* in presence of water tables. *Agron. j. 64(3):292-96.*
113. **Rending, V. V.** e **E. A. McComb,** -1961- Em: A biocenose do solo na produção vegetal, de **Primavesi.** *Pallotti, Sta. Maria/Rs.*
114. **Robinson, G. W.** -1960- Los Suelos, su origem, constitución y classificatión. *3 ed (traduzida) Zaragoza, p 243.*
115. **Rosemberg, N. J.** -1964- La réaction des plantes sur des effects physiques des adensements du sol. *Adv. Agron. 16:181-96.*
116. **Russel, E. W.** -1961- Soil conditions and plant growth. *9 ed Longmanns & Green, Londond.*
117. **Salinas, J. G.** e **P. Sanchez,** -1975- Tolerance to aluminium toxicity and low available phosphorus. *Agron-econ. Res. Trop. Soils, ann. Rep. ed US Agency Intern. Developm. pp 40-65.*
118. - - - - - - - -, **E. Gonzales, E. J. Kamprath** e o. -1975- Residual effects of limerates and depth of incorporation. *Agron-Econ. Res. Trop. Soils, ann. Rep. North Carolina State Univ. pp 16-26.*
119. **Sanchez, P. A.** -1977- Manejo de solos da Amazônia para produção agropecuaria intensiva. *Bol. Inf. Soc. bras. ciência solo.*
120. **Santana, C. J. de; F. J. O. Morais, de** e **R. E. Chepote,** -1977- Efeito da adubação e escarificação do solo no desenvolvimento e produção do cacaueiro. *Rev. Theobroma, 7: 85-9.*
121. **Saveson, I. L.** e **Z. F. Lund,** -1958- Deep tillage for crop production. *Trans ASAE, 1: 40-42.*

122. **Scheffer, F.** e **O. Tornau,** -1953- Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaus. *Parey, Berlin-Hamburg.*
123. - - - - - - - - e **P. Hiestermann.** -1957- Die Bedeutung der Chelatisierung in der Agrikulturchemie und Bodenkunde. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 76:146-57.*
124. **Schmidt, B. L; W. D. Schrader** e **W. C. Moldenhauer,** -1964- Relative erodibility of three loess derived soils in south western Iowa. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(4):570-74.*
125. **Schuurman, J. J.** -1966- Effects of soil density on root development and top growth of oats. Em: *Proc. Intern. Sci. Symp. Brno. CSR, pp 103-20*
126. **Schwille, F.** -1967- Chloride und Nitrate in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingaues. *Gas &Wasserfach. 94:410-14.*
127. **Souza, P. D. M. de** -1967- Água no solo: armazenamento e disponibilidade em Terra Roxa estruturada e Terra Roxa misturada. *Rev. Ex. Agron. Vet. Paraná. 3 (único) 79-138.*
128. **Sprague, H. B.** -1964- Hunger signs in crops. *3 ed McKay, New York.*
129. **Stauffer, R. S; R. J. Muckenhirn** e **R. C. Odete,** -1940- Organic carbon, pH and aggregation of the soil of the Morrow plot as affected by tipe of cropping and manurial additions. *J. Amer. Soc. Agron. 32:819-32.*
130. **Stevenson, D. S.** -1967- Wirksames Bodenvolumen und seine Bedeutung für das Wurzel und Sprosswachstum. *Canad. J. Soil Sci. 47:163-74.*
131. **Stolzey, L. H. V.** e **J. Lethey,** -1964- Correlation of plant response to soil oxygen diffusion rate. *Hilgardia, 35:567-76.*
132. **Sulochana, A. C. B.** -1962- Em: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, de **Mengel, K** *Fischer, Jena, p 42.*
133. **Taylor, H. M; L. F. Locke** e **J. E. Box,** -1956- Pans in Southern Plain soils. III: Thei effect on yield of cotton and grain sorghum. *Agron. J. 56:542-45.*
134. - - - - - - - - - e **E. Burnett,** -1964- Influence of soil strength on the root growth habit of plants. *Soil Sci. 98:174-80.*
135. **Timm, H.** e **W. J. Flocker,** -1963- Potatoe response to induced soil compaction. *Pan Amer. Agron. Meeting, Kenver, p 42.*
136. **Trolldenier, G.** -1968- Cereal diseases and plant nutrition. *Progr. Biodin. Produt. Solo. Sta.Maria/RS. pp 509-19.*
137. **Uhland, R. H.** -1949- Physical properties of soil modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14:316-66.*
138. **Veiga, C.** e **L. B. Oliveira, de;** -1977- Influência do manejo sobre a porosidade do solo e sobre a produtividade de soja *(Glycine max (L) Merrill)* em solo podzólico vermelho amarelo. *Rev. Centro Ciências Rur. 7(2):91-99.*
139. - - - - - - - -, - - - - - - - - -1976- Influência do preparo do solo sobre a distribuição de raízes de soja. *(Glycine max (L) Merrill)* em solo podzólico vermelho amarelo. *Rev. Centro Ciênc. Rur. 6(3):295-307.*
140. **Vencater, R. C. S.** -1960- Foliar application of nutrients and rhizosphere microflora of *Camelia sinensis. Nature, 187:621-22.*
141. **Viesser, W. C.** -1959- Crop growth and availability of moisture. *Inst. Land & Water managem. Wageningen, Tech. Bull. Nº 17.*
142. **Vidor, C; J. R. J. Freire, N. G. Mendes** e **o.** - 1977 - Avaliação do efeito de métodos de adubação em variedades de soja. *EMBRAPA, Soja resum. inform. Vol. 1 p 220.*
143. **Voisin, A.** -1960- Dynamique des herbages. *Maison Rustique, Paris.*
144. **Vrany. J.** -1968- Reação da microflora da rizosfera após a aplicação de uréia e outras substâncias. *Progr. Biodin.Produt. Solo, Sta. Maria/RS, pp 521-32.*
145. **Walter, H.** -1951- Einführung in die Phytopathologie. *III: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. 1º T. Standortslehre. Ludwigsburg.*
146. **Weaver, J. E.** -1926- Root development of field crops. *McGrawhill, New York.*
147. - - - - - - - - e **F. E. Clements,** -1958- Plant Ecology. *2 ed McGrawhill, New York.*
148. - - - - - - - - -1950- Effect of different intensity of grazing on depth and quantity of roots of grasses. *J. Range Management, 3:100-13.*
149. **Weaver, N.A.** e **V.C. Jamison,** -1951- Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. *Soil Sci. 71:15-23.*
150. **Wiersum, L. K.** -1966- Root system development. Em: Soil moisture and irrigation studies. *Proc. FAO/IAEA, Viena, pp 83-96.*

151. **Wohlrab, B.** -1966- Grundwasser und Pflanzenertrag. Em: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung de **Scharrer-Linser.** *Springer, Wien-New York, pp 691-716.*
152. **Wollney, E.** -1880- Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecken und der Beschattung auf den Kohlensäurehaushalt der Bodenluft. *Forsch. Geb. Agr. Phys. 3:1-14.*
153. **Wrigly, G.** -1969- Tropical agriculture. *Faber & Faber, London.*
154. **Cadima, A. Z.** -1977- Sistema radicular da seringueira e os fatores físicos que influem no seu desenvolvimento. *XVI Congr. bras. ciência solo, p 20.*

APÊNDICE

155. **Foy, C. D.** e **J. C. Brown:** -1963- Toxic factores in acid soils. I: Characterization of aluminium toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:403-07.*
156. - - - - - - - -, **G. R. Burns, J. C. Brown** e **A. L. Fleming,** -1965- Differential aluminium tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around the roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:64-67.*
157. **Mclean, F. T.** e **B. E. Gilbert,** -1927- The relative aluminium tolerance of crop plants. *Soil Sci. 24:163-75.*
158. **Mclean, E. O.** -1965- Aluminium. *Agronomy, 9:978-98.*
159. **Munns, D. N.** -1965 b- Soil acidity and growth of a legume. III: Interaction of lime and phosphate on growth of *Medicago sativa L.* in relation to aluminium toxicity and phosphorus fixation. *Austr. J. Agr. Res. 16:757-66.*
160. **Parish, D. H.** -1971- Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield. Em: Compaction of agricultural soils de **Barnes.** *Amer. Soc. Agric. Engin. Basselman, St. Joseph, Michigan. pp 277-312.*
161. **Watts, M; L. Covolo** e **W. Silveira,** -1973- Influência da compactação do solo sobre a disponibilidade de fósforo, em milho. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. UFSM/RS. não public.*
162. **Wright, K. E.** e **B. A. Donahue;** -1953- Aluminium toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol. 28:674-80.*

Capítulo 3

EL SUELO

LA PARTE MINERAL

No hay duda de que la planta vive parte en el suelo y parte en el aire. Ninguna parte puede subsistir sin la otra, y el bienestar de la parte aérea, es decir, de las hojas, flores y frutos, es tan importante como el bienestar de la parte terrestre, la raíz.

La raíz retira del suelo agua, nutrientes y parte del oxígeno, la hoja capta del aire gas carbónico y energía. El comienzo de la formación de muchos aminoácidos y sustancias vegetales se procesa en la raíz, o más precisamente, en el seno de la misma. La formación final de proteínas se realiza en la hoja (figura 3-1).

Por mucho tiempo se hizo omisión del suelo y de la raíz, porque se tenía en cuenta solamente la parte visible de la planta. Aquella parte escondida no era considerada. Si algo no funcionaba bien era, simplemente, porque no estaba en orden la parte vegetal aérea. Nadie consideraba que la planta es un todo, y que los problemas visibles podían estar originados en la raíz. Quién no conoce los retorcidos árboles del "cerrado", donde cada torcedura del tronco y ramas corresponde a una de la raíz, y donde la pobreza de vegetación se debe a la pobreza del suelo o, más aún, a la imposibilidad de la raíz de nutrirse adecuadamente.

Del suelo necesitamos que:

1. permita un buen desenvolvimiento de la raíz;
2. tenga los suficientes nutrientes para la planta;
3. conserve la mayor cantidad de agua disponible para la planta;
4. sea suficientemente aireado;
5. no contenga sustancias tóxicas, perjudiciales a la raíz.

Teniendo en cuenta estos puntos, se formó una concepción del suelo, en clima templado (de donde se importaron técnicas para Brasil), y donde predominaba la lucha para poder producir a pesar de las épocas frías, con hielo y nieve, de poca insolación y temperaturas muy bajas.

Con mucho arte y técnicas penosamente desarrolladas, se consiguió producir altas cosechas, a pesar de todas las adversidades climáticas (13, 71) y, actualmente, se llega a una superproducción.

Por eso, con evidente ilógica, se llegó a la conclusión de que lo que ayudó a desarrollar a los países actualmente ricos y económicamente afianzados (en clima templado), tiene que ser óptimo para los países pobres en busca de su desenvolvimiento tecnológico (en clima tropical). Pero, para mayor decepción, los suelos tropicales y subtropicales no reaccionaban favorablemente a las técnicas de los países con economías avanzadas. Simplemente se tornaban improductivos y tenían que ser abandonados temporariamente.

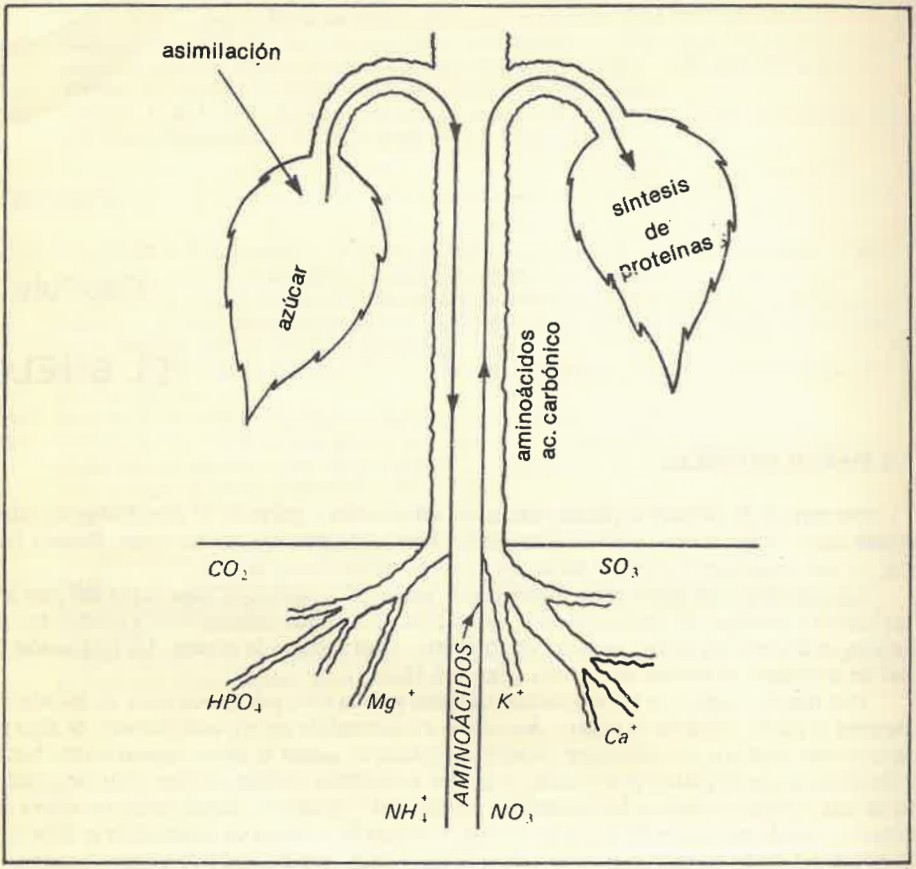


Fig. 3.1 *Importancia de la raíz en la síntesis de sustancias orgánicas* (**Mengel**, *1965*).

Para fines de su manejo, normalmente se considera al suelo tropical como un suelo de clima templado, sólo que más pobre y situado en clima más cálido. Pero los expertos en desarrollo agrícola que los países ricos tan generosamente enviaron a los países "pobres" no tuvieron en cuenta que funcionan en sistemas diferentes, y que un ecosistema tropical nada tiene que ver con otro de clima templado.

Como se tomó el suelo templado como suelo "tipo", se sacó en conclusión que el suelo tropical es más desfavorable en los ítem donde ambos difieren. Al final, la política fue equiparar el suelo de las regiones tropicales al de las templadas o, por lo menos, tratar de conseguirlo. Esta actitud es comprensible, ya que fueron los colonos europeos quienes, al trabajar el suelo brasileño lo compararon con el de sus países de origen.

Pero sucede que la planta reacciona en diferente forma en clima tropical y exige que también el suelo sea diferente, adecuado al clima, para poder producir bien. Cuando el suelo de zonas tropicales se asemeja al de las templadas, la producción vegetal resiste los esfuerzos del hombre para lograr buenos rendimientos.

Cuadro 3.1 *Cuadro comparativo del suelo*

Tropical (predomina caolinita)		*Templado (predomina montmorilonita)*
más profundo	- 1-	más superficial
más intemperizado	- 2-	menos intemperizado
baja capacidad intercambiable de cationes (Ca, Mg, K, Na)	- 3-	elevada capacidad intercambiable de cationes
más pobre en sílice y más rico en Al y hierro (óxidos)	- 4-	más rico en sílice y menos en hierro y aluminio
poca fijación de K y NH_4	- 5-	apreciable capacidad de fijar K y NH_4 (28)
gran capacidad de fijar P	- 6-	baja capacidad de fijar P (28)
mayor capacidad de intercambiar aniones (P, S, Cl NO_3)	- 7-	menor capacidad de intercambiar aniones
es más ácido	- 8-	es menos ácido
es friable	- 9-	es viscoso (menos friable)
en estado natural posee estructura más grumosa (migajosa)	-10-	posee estructura menos grumosa
descompone rápidamente la materia orgánica y rara vez acumula humus	-11-	descompone la materia orgánica lentamente, puede acumular humus en gran cantidad
posee una microvida muy activa, necesitando su limitación	-12-	posee una microvida poco activa, necesitando su "movilización"
sufre fácilmente de erosión por lluvias torrenciales	-13-	raramente sufre erosión, debido a pocas lluvias torrenciales
sufre fácilmente sobrecalentamiento, necesita protección contra insolación directa	-14-	es muy frío, necesita ser calentado por insolación directa
baja capacidad de retención de agua	-15-	alta capacidad de retención de agua (28)

EL SUELO DE CLIMA TROPICAL Y SU FORMACION

Sabemos que seis factores influyen sobre la formación del suelo:

1. el material de origen, que puede ser una roca, un sedimento arcilloso transportado por el viento (loess), o una arena transportada por el agua (suelos aluviales);
2. el clima, destacándose especialmente la cantidad y distribución de las lluvias y su percolación por el perfil del suelo, y la temperatura.
3. la vegetación, que por la cobertura del suelo, la materia orgánica y la permeabilidad de la superficie, ejerce influencia decisiva (pastaje, selva o tierra agrícola) (11, 28);
4. el tiempo;
5. el relevo, que altera los factores de insolación y penetración de agua;
6. el hombre, cuya influencia se resume en "factores antróficos" y que en la clasificación se denomina "epipedon antrófico".

Como el hombre puede tener una influencia muy grande a través de los cultivos, el labrado, la fertilización, y las quemas, es decir, por el uso y manejo del suelo, se agrega este sexto factor: el ser humano (13, 15, 36, 90).

Se presume que la formación del suelo se procesa muy lentamente y que las alteraciones llevan millares de años. Sin embargo, **Glinka** (1914) demuestra que un suelo forestal y uno pastoril aproximan sus características en un período de diez años (19), si son cultivados. Un suelo cultivado que fuere reforestado o utilizado para pastura, se desarrolla de manera muy diferente, mostrando en poco tiempo características distintas, de acuerdo a la cobertura vegetal (19). Esto sucede porque la insolación, el impacto del agua sobre el suelo, la

estabilidad de la bioestructura, la infiltración y percolación del agua de lluvia, los ácidos producidos por las hojas y raíces y la lixiviación de las bases, los microorganismos, en fin, toda la vida química y biofísica se modifican (85).

Podemos presumir, por lo tanto, que la modificación del perfil de un suelo puede procesarse mucho más rápidamente de lo que antes se creía. La temperatura y el tiempo determinan la velocidad de la hidrólisis, y las precipitaciones y el tiempo, la de la lixiviación de los productos solubles de la hidrólisis (28).

El material de origen

La roca se desintegra por la acción del agua, de microorganismos, de raíces y de la temperatura (13, 71). Si fuese solamente triturada, resultaría arena de un grosor variable: desde la arena gruesa de 2 mm de diámetro hasta la fina de 0,1 a 0,05 mm de diámetro y, tal vez, el limo, cuya finura puede ir hasta 0,002 mm. Granos más finos no pueden ser producidos físicamente. Las partículas ultrafinas, que son de arcilla, con tamaño inferior a 0,002 mm, se forman por la disolución de los minerales contenidos en la roca y su posterior cristalización en "escamas" finísimas (66, 74). Sin embargo, el suelo no tiene composición idéntica a la de la roca de la cual se formó (15, 28, 48, 74), como muestra la figura 3-2.

La cantidad de iones en la roca no es muy indicativa de la existente luego en el suelo, dado que el calcio, el magnesio y el potasio disminuyen en el suelo con relación a la roca, y el aluminio aumenta cuatro veces. La cantidad de iones que finalmente aparecen en la capa arable depende del clima, de la capa vegetal, y sólo en parte, del material de origen. En suelos ricos en calcio y magnesio, que no sufren lixiviación, las arcillas que se forman son montmorilonitas (27, 78), mientras que *en suelos tropicales, pobres en cationes, con lixiviación fuerte y en presencia de alta solubilidad de los silicatos y acumulación de hidróxidos de hierro y aluminio, se forman caolinitas* (13, 15, 30, 41, 50).

Por lo tanto vale, en términos generales, lo siguiente: para el clima tropical, en terrenos donde prevalece la lixiviación, las arcillas predominantes son pobres e hidratadas, como la caulinita, y *en terrenos donde hay acumulación de calcio y magnesio, como en valles, predomina la formación de arcillas ricas como la montmorilonita* (73, 86). Estas arcillas son mucho más pesadas y viscosas, pero igualmente, mucho más ricas. Así, tanto el "gru-

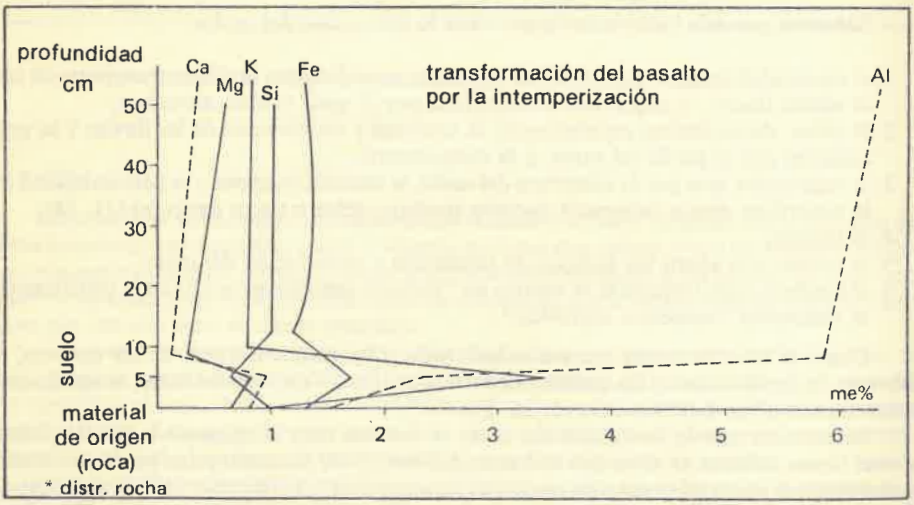


Fig. 3.2 *Transformación de basalto por la intemperización, y modificación del tenor de minerales* (**Mohr**, *1959*).

mossol'' (suelo grumoso) negro, de la frontera de Rio Grande do Sul, como muchos suelos aluviales de la Amazonia, son suelos ricos, porque la arcilla predominante es la montmorilonita (66). Estos suelos dependen mucho del mantenimiento de su bioestructura grumosa, porque al ser pegajosos y adherentes se oponen a la penetración radicular si la humedad no es suficiente. Cuando la bioestructura de estos suelos es buena, los rendimientos son más seguros, especialmente si se trata de zonas con clima constante (72). Por ello en la Amazonia se producen cosechas altas de arroz irrigado.

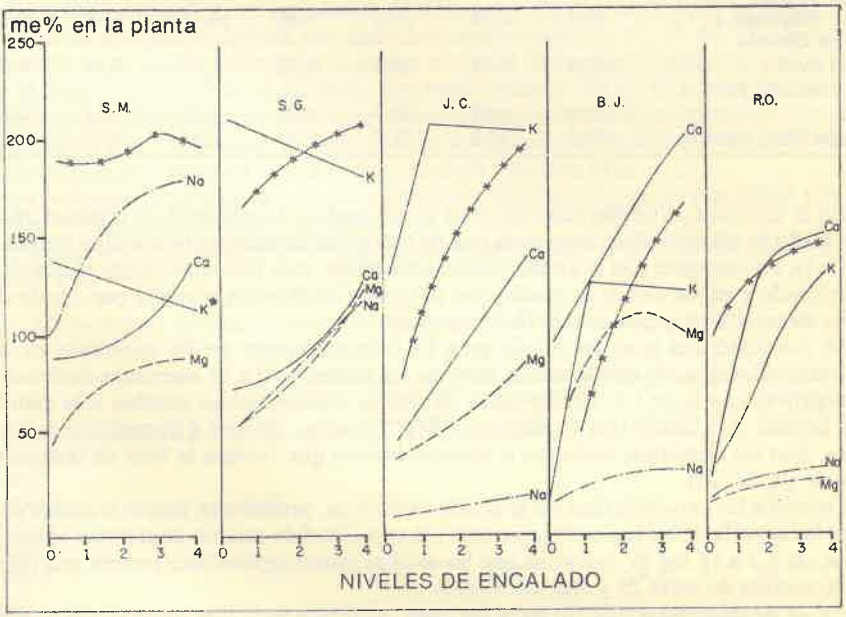


Fig. 3.3 *Rendimiento de la cebada en relación a los elementos absorbidos por la planta, en cinco unidades de suelo en R. G. do S.* **Ben,** *1974).*

(Obs.: niveles de encalado: 1 = 1 SMP; 2 = doble de la cantidad aconsejada por el SMP; etc. Unidades del suelo, ver cuadro 3.2. Del potasio se representa la mitad del tenor.)

Una prueba con cebada en Rio Grande do Sul muestra (figura 3-3 y cuadro 3-2) que en dos suelos las plantas responden poco a un encalado, a pesar de que el aluminio de cambio es de 1,88 me % en el suelo San Gabriel. Esto es porque la fracción de arcilla montmorilonítica confirió al suelo (S.G.) una CTC mayor con una saturación de bases del 70 %, mientras sólo el 6,8 % de la CTC están saturados con aluminio. El efecto del encalado depende en parte del Al intercambiable, en parte de la saturación de la CTC con Ca^{++} y, cuando ésta es muy reducida, también del aumento de calcio disponible a la nutrición vegetal.

Aunque el rendimiento de la cebada no haya sido aumentado por el encalado en los suelos de S.M. y S.G., su producción fue sensiblemente mayor en los otros suelos, como muestra la figura 3-3.

La absorción de los nutrientes depende no sólo de la especie vegetal, del encalado y de la fertilización, sino también de la unidad del suelo. En los suelos con fracción de arcilla montmorilonítica (S.M. y S.G.), la reacción al encalado es diferente.

(4) Se denomina así corrientemente, en Rio Grande do Sul, a los resultados de la determinación de la necesidad en calcio por ese método. (Ver bibliografía). *(N.T.)*

Cuadro 3.2 *Características de los suelos presentados en la figura 3.3*

Suelo	*Arcilla* %	*C%*	*CTC%*	*Al trocab.* me%	*Ca* me%	*Mg* me%	*K* me%
Santa María (S. M.) (caul. - montmor.)	29,9	1,38	15,8	1,00	6,86	3,36	0,30
San Gabriel (S. G.) (caul. - montmor.)	35,4	1,78	27,4	1,88	10,53	8,38	0,56
Julio de Castillo (J. C.) (caul.)	43,4	1,91	15,4	2,82	1,74	3,18	0,48
Bom Jesus (B. J.) (caul.)	56,9	3,37	22,9	5,25	1,01	1,54	0,27
Rocinha (Ro.) (caul.)	45,8	13,2	32,7	8,05	0,14	0,79	0,32

En la caolinita, la arcilla más frecuente en los suelos "tropicales", se produce una capa de óxido de silicio o sílice, para cada una de hidróxido de aluminio o alumina (arcilla mineral 1:1), en contraste con la arcilla montmorilonítica, más frecuente en los suelos de clima templado y en los menos lixiviados con su lámina de alumina envuelta por dos de sílice (arcilla mineral 2:1), y por eso de fácil expansión.

Se consideró una gran desventaja para los trópicos poseer arcilla caolinítica en lugar de montmorilonítica, ya que la arcilla mineral 2:1 presenta 10 a 15 veces más electrovalencias negativas que la de 1:1, siendo capaz de retener e intercambiar muchos más cationes, como potasio (K^+), calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y otros, siempre a disposición de los vegetales. Son los elementos mutables o intercambiables que forman la base de la fertilidad del suelo (9, 71, 72).

Debido a las características de la arcilla caolinítica, presente en mayor o menor cantidad en la mayoría de los suelos "tropicales", la capacidad de cambio de cationes es muy reducida, de 2,5 a 15 me %, mientras que las arcillas montmoriloníticas poseen una capacidad de cambio de entre 25 y 180 me % (13).

Existe un estrecho equilibrio entre los iones nutritivos de la fase mineral, del complejo de cambio (CTC) y de la solución del suelo (agua). El reabastecimiento de la solución del suelo con nutrientes depende pues, especialmente, del complejo de cambio.

iones incluidos ⟵ iones retenidos en ⟵ iones disueltos en
en la fase mineral ⟶ el complejo de cambio ⟶ la "solución" del suelo

En suelo "templado", el reabastecimiento es intenso; en el suelo "tropical" es muy débil, debido al complejo de cambio reducido. Esto se tornó el problema número uno en los países tropicales: la baja capacidad de reabastecimiento de la solución del suelo con nutrientes, que ya es débil en suelo arcilloso, y muy débil en el arenoso. Pero, ¿por qué será que el suelo tropical, por lo general, es mucho más profundo y mucho mejor granulado que el suelo de regiones templadas? ¿No será ésa una compensación? (2, 41).

Es errónea la suposición de que, durante el abandono y descanso de la tierra, habría acumulación de nutrientes disponibles en gran cantidad en la solución del suelo. La acumulación no puede ser mayor que la capacidad de cambio equivalente, debido al equilibrio existente. Y la idea de que la planta "agota" el espacio enraizado del suelo no es correcta de la forma como se suponía. La verdad es que el espacio enraizado disminuye drásticamente por el efecto del cultivo inadecuadamente manejado, restringiendo la raíz a un espacio mucho menor (53). ¡Son las capas compactadas que se oponen a la penetración radicular! En este espacio reducido, todavía pasible de enraizar y, generalmente en la capa super-

ficial del suelo, la raíz no encuentra más los nutrientes necesarios que antes encontraba en un volumen de suelo muchas veces mayor (28, 59, 90).

¡El problema, pues, no es tanto la concentración de los nutrientes en el suelo, sino el espacio que puede ser explorado por la raíz!

El descanso de la tierra bajo un mato (bosque) sin cultivar, recupera la estructura del suelo (91), y con ello, la posibilidad de un enraizamiento mayor y, en parte, aumenta el complejo de cambio por sustancias orgánicas humificadas, lo que aumenta el reabastecimiento.

El suelo "tropical" es un ecosistema diferente que, por naturaleza, se fundamenta en su muy buena agregación, debida a la riqueza en sesquióxidos (2, 27, 37, 46, 77). Aun poseyendo el 72 % de arcilla, cuando se lo amasa entre los dedos puede aparentar una textura como si fuese un suelo franco, es decir, con tenor arenoso del 40 % o más. Estos suelos quebradizos, arcillosos, por mucho tiempo fueron un enigma para los entendidos en suelos "templados", y la "terra roxa"* legítima, con su exuberante fertilidad y su gran resistencia a la erosión, no pudo ser comprendida durante decenios (41).

Sin embargo, grumosidad y buena agregación equivalen a mayor porosidad y mejor aireación y capacidad de almacenar agua útil.

Grohmann (1960) analizó tres tipos de suelo del Estado de San Pablo, dando los siguientes resultados:

Cuadro 3.3 *Porosidad, humedad equivalente y peso real y aparente de tres suelos (***Grohmann,** *1960)*

Suelo	*Peso espec. real*	*Peso esp. aparente*	*Porosidad total*	*capilar*	*Humedad equival/vol.*
"Terra roxa" Legítima no cultivada	2,88	0,94	67,4	34,4	26,3
"Terra roxa" Mezclada de bosque	2,68	1,06	60,8	24,9	22,8
Arenito Bauru de bosque	2,56	1,35	48,0	31,4	18,5

En la "terra roxa" la mayoría de los poros capilares se encuentran en la capa superficial, mientras que en el "arenito"** se encuentra en las capas más profundas. Se verifica que, a pesar del tenor elevado de arcilla, la "terra roxa" posee menor peso específico aparente que la arena, y mucha mayor porosidad. Y esta porosidad se fundamenta por un lado en el óxido de hierro (77). Se sabe actualmente que la conductividad de las arcillas disminuye con un tenor decreciente de hierro (46).

Por otro lado la distribución de los poros en los 25 cm superficiales no permite una lixiviación rápida de la "terra roxa", aunque facilite la infiltración de agua.

Cuadro 3.4

Suelo	*Poros de 0,02 a 0,1 mm*	*De 0,1 a 0,2 mm*
"Terra roxa" Legítima	80,1%	19,9%
"Terra roxa" Mezclada	77,0%	23,0%
"Arenito"	37,9%	62,1%

*Tierra roja, típica de las mejores áreas agrícolas de Brasil. *(N.T.)*

**Suelos arenosos muy comunes en Brasil, mucho menos fértiles que la "terra roxa". *(N.T.)*

Se sabe que la eliminación de Fe_2O_3 redujo en un latossolo la superficie específica del suelo en el horizonte A del 42 % y en el B del 25 % (23), mostrando la gran importancia del hierro para la granulación de los suelos tropicales. Sin embargo, la agregación puramente química, aun poseyendo cierta estabilidad, todavía en cierto grado está sujeta a la destrucción por la acción del agua. La porosidad de la "terra roxa" y de otros suelos como los latossólicos, no puede ser exclusivamente química. Por la eliminación de materia orgánica de estos suelos, hay una reducción del 26 al 29 % de la superficie específica del suelo en el horizonte A, y del 10 al 12 % en el horizonte B (23).

Solamente cuando los agregados se juntan en grumos, debido a la acción de ácidos húmicos o poliurónicos, y cuando son "cimentados" por vías biológicas, pueden adquirir esa sorprendente estabilidad.

Los "agregados mayores" o grumos poseen mayor tenor en carbono, es decir materia orgánica, que los menores (53). Por lo mismo, cuando se adiciona materia orgánica al suelo, los agregados se tornan mayores (24). Esto es de máxima importancia para la producción agrícola, ya que a partir de determinada masa específica aparente es impedida la penetración radicular (25).

Los grumos en los suelos tropicales por lo general son pequeños, con un diámetro entre 0,5 y 1,0 mm (66), mientras que, según la literatura existente, en los países templados tienen un diámetro de 2 a 5 mm. Esto se explica por el diferente origen (15, 41, 78).

Todas las arcillas absorben cierta cantidad de ácidos orgánicos, formados durante la humificación de materia orgánica, constituyendo un complejo humo-arcilloso. El nivel de materia orgánica de estos suelos no baja de un mínimo que les es propio (62, 66, 75).

Cuando son cultivados, el problema más grande de los suelos en regiones tropicales y subtropicales es que, en condiciones de suficiente humedad, pierden rápidamente la materia orgánica que sobrepasa este nivel mínimo (10), y con ella pierden su bioestructura y sus condiciones de producir (2, 3, 59, 60, 64, 66). La restitución de la materia orgánica en el suelo se vuelve, pues, una cuestión vital para la agricultura tropical (ver capítulos 2 y 4). Con la pérdida de la materia orgánica decrece igualmente la CTC.

La capacidad de cambio de la materia orgánica varía de entre 160 y 190 hasta 400 e.mg/100 g, que significan 1,6 a 4,0 e.mg de cambio por 1 % de materia orgánica en el suelo (67). Y esto, independientemente de un encalado que puede aumentar la "CTC dependiente del pH" (1).

Se comprende que *la bioestructura más favorable y el perfil más profundo son una compensación para la mayor pobreza en nutrientes* (90, 92). La planta explora, de este modo, un espacio de suelo mayor, penetrando con las raíces hasta el nivel freático (2), consiguiendo obtener calidades de nutrientes iguales o mayores que las obtenidas por la planta en suelos con mayor concentración de nutrientes, pero más superficiales y con bioestructura menos favorable. La ventaja reside en el hecho de poder absorber agua y nutrientes aun cuando la presión osmótica de la raíz sea débil, lo que ocurre con facilidad en clima cálido. Por lo tanto, la solución del suelo menos concentrada se topa con las condiciones de zonas tropicales, como ya se explicó en el capítulo anterior (ver también capítulo 7).

En concentraciones diferentes de soluciones nutritivas, podemos verificar que el tamaño de las plantas difiere poco. Lo que sí difiere es el tamaño radicular, mayor en las soluciones débiles.

La planta en solución normal dos veces concentrada (B) no crece mejor; por el contrario, sufre una depresión en el desarrollo en relación a la planta en solución normal 1 × concentrada (A). La planta en solución 50 veces diluida (C) sufre una depresión cuando la solución nutritiva es cambiada sólo cada 4 días, por haber agotado los nutrientes después de 60 horas (dos días y medio), por lo que quedó algún tiempo sin nutrición. Sin embargo, desde el comienzo compensó la concentración mucho más débil por un crecimiento radicular tres veces mayor que lo normal. Y cuando la solución nutritiva fue cambiada cada 2 días, la planta se desarrolló como en la concentración normal (A), pero produjo 8 veces más raíces. En el suelo, el "cambio de solución nutritiva" se da por la penetración de la raíz en espacios nuevos.

Cuadro 3.5 *Producción de hojas y raíces en soluciones nutritivas de concentración diferente* (peso seco)

Solución nutritiva	*Planta/g*	*Raíz/g*	*Cambio de solución en días*
A) solución normal 1 × concentrada	0,43	0,07	4
B) solución normal 2 × concentrada	0,33	0,07	4
C) solución normal 50 × diluida	0,31	0,23	4
D) solución normal 50 × diluida	0,44	0,56	2

Esto significa que *la planta, aun en suelo pobre, tiene idénticas condiciones de producir que en suelo bien provisto de nutrientes, siempre que la raíz tenga la posibilidad de expandirse libremente* (81, 89). Por otra parte, una fertilización muy concentrada rara vez beneficia a la planta por causa de problemas de la presión osmótica, como explicamos en el capítulo 1. La nutrición de la planta, entonces, no depende tanto de la concentración de nutrientes en el suelo, sino de la posibilidad de la raíz de poder explorar un espacio suficientemente grande. Si ella no puede avanzar para alcanzar los nutrientes, al tener el camino impedido por capas compactadas (2, 7, 58) como "piso-de-arado", o capas compactadas por sedimentación de arcilla lixiviada de grumos destruidos, entonces la planta agota los nutrientes del espacio limitado, a su disposición, y "sufre" de hambre.

Es un error pensar que la nutrición vegetal depende exclusivamente de la concentración de nutrientes. En clima tropical, en días de mucho calor, la planta no consigue absorber de una solución de suelo muy concentrada (ver capítulo 1).

El clima en la formación del suelo "tropical"

¡El clima hace al suelo y el suelo hace al clima! El clima poco podría actuar sobre el suelo si éste no lo facilitase. El suelo "tropical" ofrece, por lo tanto, exactamente las condiciones más ventajosas para la planta en clima cálido: una buena estructura y una concentración débil de nutrientes que, sin embargo, no va a disminuir por debajo de un nivel mínimo. La desventaja que el suelo "tropical" parecía tener respecto al suelo de las regiones templadas, ¡no existe!

Pero *el problema básico del suelo tropical es una bioestructura que permita el libre desenvolvimiento radicular, y sólo después debería considerarse la fertilización.*

Según **Wrigley** (1969), *una planta que consigue explorar un volumen de suelo 4 veces mayor, produce 3 veces más que una planta con todos los nutrientes concentrados en un volumen inicial de suelo* (90).

EL AGUA EN LA FORMACION DEL SUELO

No sólo la temperatura, que anima la microvida y que hace más activas a muchas enzimas, sino especialmente el agua, que percola el perfil del suelo, es uno de los factores más poderosos en la formación del mismo.

Existen, en resumen, tres alternativas que son mostradas en la figura 3-4.

La *podzolización* ocurre especialmente en suelos arenosos en regiones sin estación seca o debajo de selvas. Por un lado, las selvas garantizan buena infiltración en el suelo (80), como es explicado en el capítulo 7, e impiden que la temperatura aumente más allá de los 24° C, y que con ello haya mayor evaporación. Un ejemplo típico es la hileia amazónica. El agua se infiltra, percola el suelo, lavándolo hasta formar una capa blanca bajo la cual se

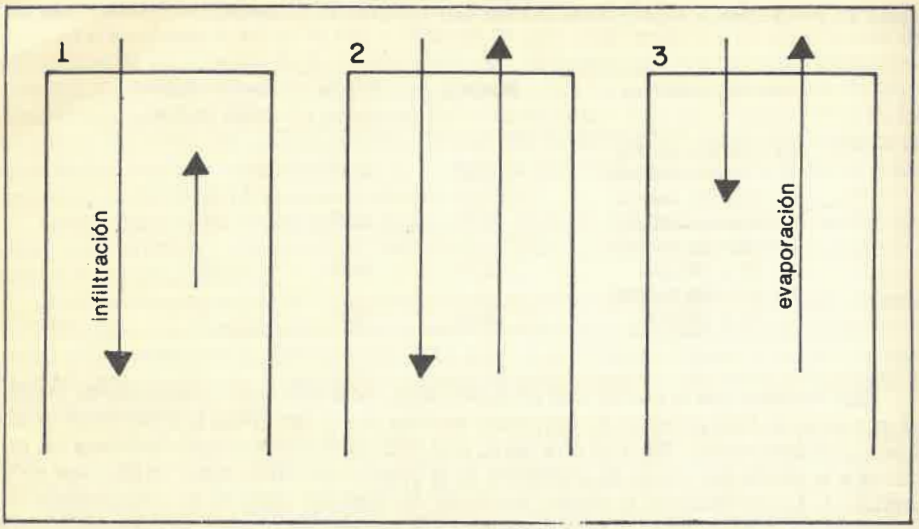


Fig. 3.4 *Influencia de la infiltración y de la evaporación del agua sobre el suelo.*

acumula todo lo que fue lavado del suelo superior: humus, cationes (Ca, Mg) y óxidos de hierro. El suelo se torna mucho más pobre y muy ácido (11, 36).

La *laterización* es normal en climas tropical y subtropical con estación seca pronunciada. En la estación de las aguas, el suelo es percolado por el agua que se lleva consigo ácido silícico disuelto, des-silificando el suelo. De la misma forma se lleva calcio, magnesio, potasio, nitratos y boro. A ésta le sigue la estación seca, donde predomina la evaporación debido al déficit agudo de precipitaciones. Suben nuevamente los nitratos y el potasio que, junto a la actividad microorgánica, especialmente de algas, permiten la vegetación exuberante del comienzo de las aguas. En estas condiciones hay acumulación de hierro y aluminio en la superficie del suelo, porque son más difíciles de ser lavados que el silicio.

En la región ecuatorial, el efecto de laterización puede ser tan violento (15), que aun suelos predominantemente arenosos pueden presentar capas de 20 a 50 cm y más de concreciones lateríticas, las plintitas (85, 86), comúnmente llamadas "pizarras" o "cascajo laterítico", siendo designados como suelos concrecionarios en el área amazónica (84). Estas capas de plintitas intrigaron mucho a los investigadores, porque tenían la opinión de que sólo podían formarse en suelos con un nivel freático muy alto y parcialmente encharcados, porque el hierro es muy móvil en condiciones anaeróbicas, es decir, reducidas ($Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2}$). Pero luego se verificó que también los ácidos orgánicos, originarios de la descomposición de materia orgánica, reducen el hierro tornándolo soluble (50).

El aluminio no depende de condiciones reducidas para su movilización (27), pero sí de un pH debajo de 5,5 (78).

La *salinización* sobreviene en zonas con pocas lluvias, es decir, en clima semiárido o subhúmedo y en regiones desérticas, con concentración de las lluvias en algunas semanas por año. También ocurre en zonas con bastantes precipitaciones pluviales, pero donde los suelos son tan compactos que el agua no consigue infiltrarse, y donde hasta un sol débil

[5] Proceso de intemperización propios de los climas cálidos y húmedos, por el cual se forma la laterita. *(J.S.M.)*

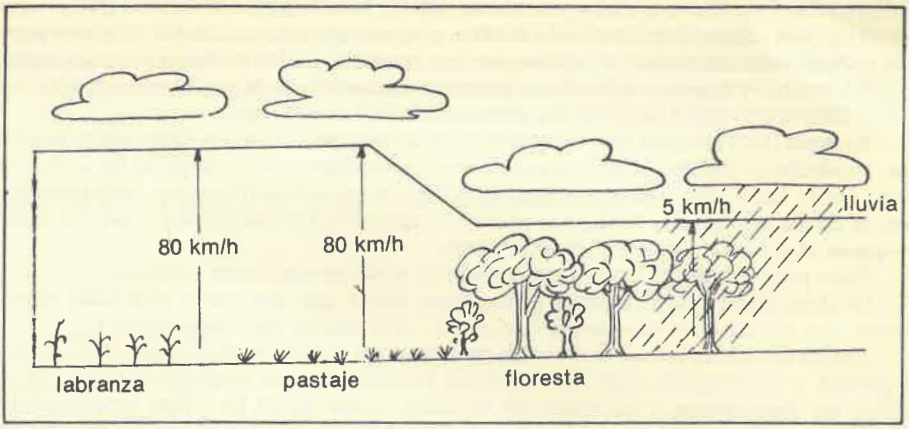


Fig. 3.5 *Influencia del suelo y de su vegetación sobre el clima. La ascensión del aire en relación a la vegetación, y los "agujeros" de aire y las lluvias* (**Wagner & Lenz**, *1963*).

consigue calentar el suelo y provocar su evaporación. El suelo compacto se calienta como la piedra, porque es buen conductor de calor. El resultado es que podemos encontrar suelos salinos hasta en el círculo polar ártico (82). Y, además, los suelos salinos no dependen de aguas salinas en el subsuelo. También el agua dulce puede salinizar el suelo. Es así, porque cualquier agua tiene algunas sales en solución, especialmente Ca, Na y también pequeñas cantidades de Mg y K.

Estas sales llegan a la superficie del suelo, el agua se evapora y la sal queda como residuo si no hay infiltración del agua pluvial. Si este proceso perdura por algunos años, la concentración de sales aumenta; sube el pH del suelo y, finalmente, el suelo se saliniza. Pero quede en claro que, cuanto más compactado y cuanto peor sea la bioestructura grumosa, tanto más fácilmente ocurre la salinización. Esta también es la razón por la cual la irrigación en zonas secas, cuando se hace con cantidades insuficientes de agua, provoca infaliblemente la salinización. Lo más importante en la irrigación no es, pues, la distribución del agua en el suelo, sino también el drenaje de la misma, para lavar las sales y no permitir su acumulación.

Si los suelos salinos están aumentando en el mundo (39), no es porque el agua, de repente, se tornó salobre, sino por:

1. compactación de la superficie del suelo, ya sea que haya ocurrido por máquinas, pisoteo de animales o por el impacto de lluvias y deficiente infiltración del agua (31);
2. irrigación hecha con cantidades insuficientes de agua (75);
3. deficiente drenaje.

INTERRELACION CLIMA-SUELO

Normalmente se cree que el microclima es algo estable, permanente, inmutable, y que el resecamiento del globo terrestre es debido a un empeoramiento del clima. Aumentan los desiertos, es verdad, pero hay que preguntarse: ¿por qué, a través de aerofotografías con infrarrojo, se descubren ciudades, aldeas y una densa red de carreteras en el Sahara?

¿Cómo es que antiguamente vivían allí pueblos prósperos? ¿Por qué uno de los mayores centros de cultura antigua fue el Oriente Medio, que hoy no tiene nada más que desiertos y petróleo? ¿Por qué los desiertos cubren justamente los lugares donde una vez flore-

cieron grandes culturas y pueblos, como en Egipto y México? ¿No es extraño que precisamente en estos lugares haya cambiado el clima mientras permaneció estable en otras zonas? Los norteamericanos dicen: "all deserts are man made!": ¡todos los desiertos están hechos por el hombre! Y prueban esto eficientemente presentando 20 de sus 51 estados con "carácter desértico", según palabras del entonces presidente Kennedy.

Ranzani (1971) prueba que el "cerrado" brasilero, generalmente, tiene suelos lateríticos o podzólicos. Esto significa que provinieron alternadamente de un clima húmedo y seco y, por lo tanto, probablemente estaban cubiertos por selvas (florestas), indispensables para la formación de estos suelos. La vegetación raquítica y xeromorfa no es natural. Parece que es el producto de la actividad humana.

Cabe preguntarse: ¿Cómo es posible que el suelo pueda alterar el clima?

La desaparición de la floresta es el primer factor que conduce a profundas alteraciones. Las lluvias se tornan menos frecuentes, pero mucho más violentas (87).

Donde no existen selvas, sino tierras para labranza y pastaje, el calentamiento del aire es grande, y su elevación, violenta. Puede ser tan violenta, que arranque la tierra, las semillas, las plantaciones y los techos de las casas, como hacen los "dust bowls" en los EE.UU. Las nubes, que el viento trae, se deslizan sobre el paisaje y su aire ascendente, como en un "almohadón de aire". Encima de una formación boscosa, con su temperatura más baja, la ascensión de aire disminuye bruscamente. La nube "cae en un agujero". Todo aviador y también todo pasajero que haya viajado en un avión pequeño un día de mucho calor, conoce estos vacíos. Y, si la nube es pesada, no consigue contener el agua: llueve, como muestra la figura 3-5. Sobre tierra que no tiene árboles, las nubes necesitan ser muy pesadas para poder descender y, cuando lo son, siempre dan origen a aguaceros y "torós" *.

Se entra, así, en un círculo vicioso. La tromba de agua compacta la superficie del suelo. Mucha agua se escurre y poca se filtra. Hay erosión. Los ríos se desbordan. Hay inundación. Y después de una o dos semanas de sol, hay sequía. El agua no se infiltró, no llegó hasta el nivel freático del subsuelo, no puede alimentar fuentes y vertientes. Los pozos se secan, los ríos se secan, las fuentes se secan y los suelos están secos porque la tromba de agua sólo humedeció la superficie. Con la sequía se instala una vegetación pobre, y cuanto más pobre es la vegetación, más difícil es la caída de lluvias, tanto más prolongadas se tornan las épocas de sequía y tanto más pavorosas son las crecientes. ¿Por qué?

El clima se forma en una tenue capa que cubre nuestro globo. Con cualquier avión mayor se puede pasar la capa de nubes y volar bajo un sol eterno y cielo límpido. Nubes, lluvias y vientos quedan allá abajo. El clima empeora a medida que desaparecen las formaciones boscosas, y el suelo se compacta. Las leyes de la reforestación no son vanas, fueron hechas para evitar la "producción en masa" de desiertos. No están aquí para salvaguardar el futuro de los aserraderos y fábricas de papel. Fueron redactadas para garantizar la sobrevivencia, porque los desiertos no dan sustento a nadie, a no ser cuando hay petróleo en el subsuelo, y siempre y cuando haya alguien que lo cambie por alimentos.

El suelo "tropical" con pH entre 4,0 y 5,0 sufre degradación rápida hacia la laterita (41, 86). Las arcillas ricas, si existen, como las montmorilonitas, se transforman en arcillas pobres, caulinítica y, finalmente, en gibsita, que es hidróxido de aluminio ($Al(OH)_3$) puro.

montmorilonita ⟷ caulinita ⟷ gibsita

Este proceso de des-silicación es reversible (34). El silicio lixiviado es transportado nuevamente a la superficie del suelo por arbustos y árboles, por ejemplo, de las "pampas" y "cerrados", pudiendo provocar hasta la resilificación de gibsita (55). Ellos absorben el silicio, transportándolo a sus hojas que después de su caída reintegran el silicio a la superficie del suelo, si el clima es seco. Si, en cambio, es húmedo, el silicio movilizado por los árboles en forma orgánica, es lixiviado. **Lovering** (1958) calcula que el 3 % de las hojas de las

* Tormentas muy violentas en Brasil. (*N.T.*)

selvas tropicales son silicio. Movilizan así dos toneladas de silicio por hectárea en 2 años y medio. Pero existen otros árboles, como algunos pinos (*Agathis australis*) y abetos (*Picea abies*) que, con sus excreciones radiculares, movilizan hierro, que es lixiviado en seguida. De modo que, donde aparecen, el suelo se torna blanco (38), constituyendo sílica pura.

Del mismo modo que con el silicio, los árboles de las selvas tropicales bombean cationes a la superficie del suelo, evitando su empobrecimiento.

Cuadro 3.6 *Análisis del suelo de "labranza" de Roraima, Estancia Anzol*

Local de la muestra	pH	M.O. %	SMP	P ppm	Ca ppm	K ppm	Mg ppm
suelo 10 metros distante de Caimbé (*Curatella americana)*	4,5	1,8	7,1	2,5	60	25	vestigios
suelo debajo de Caimbé	5,4	2,6	7,1	6,5	270	25	200

En el momento en que se derrumban los árboles para instalar praderas para pastaje, se corta también el flujo de nutrientes y la fuente de resilificación. Muchos árboles y arbustos transportan nutrientes a la superficie como Ca, K, Mg, Na, etc., variando esto según la especie (69). En clima poco lluvioso hasta puede salinizar el suelo. En zonas con épocas lluviosas contribuyen tan sólo al enriquecimiento temporario del suelo con nutrientes.

Cuadro. 3.7 *Análisis del suelo en el área amazónica, Estado de Piauí, Núcleo Colonial Agrícola (***Bol. Téc. N° 6, M. A.** *1969)*

Suelo	*Area de la colonia en %*	*Arena %*	*Limo %*	*Arcilla %*	*C %*	*CTC me%*	*pH*
laterito bruno rojizo eutrófico	1,13	42	38	20	1,97	13,3	6,5
latossol rojo-amarillo, plíntico, caatinga arboriz.	9,81 22,23	81	8	11	0,53	3,4	5,0
podzólico rojo-amarillo equiv. autrófico	0,27	89	5	6	0,38	2,0	5,4
arenas cuarzosas, rojo-amarillas	24,95	90	4	6	0,98	5,1	4,9
suelos aluviales eutróficos, superficie arcillosa	2,04	2	35	63	0,62	28,5	7,7
afloramiento de arenito y arenas cuarzosas rojo-amarillas	37,27 1,37	68	23	9	1,03	7,4	5,5
suelos aluviales eutróficos, suelos brunos, no cálcicos	0,93	40	50	10	0,41	5,5	6,7

Este cuadro muestra que el 94,1 % de los suelos de esta colonia son arenosos, pobres, con una CTC entre 2,0 y 7,4 me %, siendo igualmente muy pobres en materia orgánica que en la mayoría de los suelos no llega al 1,0 % de carbono.

Lamentablemente esta colonia es como un modelo en la Amazonia ecuatorial, donde sólo pequeñas manchas de tierra presentan una mejor fertilidad (según *RADAM:* 10 %).

Con los métodos que se utilizan actualmente y el clima ecuatorial, la formación de desiertos es tan segura como los impuestos y la muerte.

Hay medios de mejorar esta situación, pero deben ser adecuados para los suelos tropicales y no pueden ser "importados" de países que tienen su "know how" para climas templados.

EL ALUMINIO EN EL SUELO "TROPICAL"

Una verdadera ola de histeria barre el mundo occidental contra el aluminio. El aluminio en el suelo es considerado el enemigo número uno de todos los cultivos y plantaciones. Pero, como ya explicamos, el óxido de aluminio es un agente que contribuye eficazmente a la estructura del suelo tropical, siendo, por lo tanto, altamente beneficioso (30, 37). El que es seriamente perjudicial para las plantas es el aluminio intercambiable, porque puede causar plasmólisis, es decir, la deshidratación y el encogimiento del plasma en las células radiculares (17, 42, 47). Pero esta plasmólisis es provocada cuando la proporción aluminio/bases (49) (calcio + magnesio + potasio) es desfavorable (45).

Sabemos que el equilibrio de los iones absorbidos en el plasma es de vital importancia. Solo calcio o solo potasio es tan perjudicial como solo aluminio. Se necesita de iones de hidratación, como potasio y sodio, y iones de deshidratación, como calcio y aluminio, para establecer el equilibrio y la hidratación exacta del plasma celular. Como ya mencionamos, *todas las soluciones monosalinas son tóxicas* (32). La toxicidad no depende, por lo tanto, del elemento, sino del hecho de que éste predomine.

Si el aluminio de cambio no sobrepasa el 40 % de los cationes existentes en la CTC efectiva (42), por lo general no es perjudicial (48, 49).

La reacción de las plantas al aluminio es diversa (27, 43).

Como es de esperar, muchas plantas tropicales soportan mayores concentraciones de aluminio de cambio en el suelo, como mandioca, batata, cafeto, planta de té, la mayoría de las forrajeras como, por ejemplo, las del género Digitaria: pasto pangola y los Panicum: "capim-colonial". Otras, hasta necesitan algún aluminio (42, 44, 50), como todas del género Andropogon, al que pertenece el "capim-cola-de-burro", el "capim-caninha", etc. (21). Según **Lipmann** (1938), el sorgo y el maíz necesitan de 1 mg de aluminio por litro de solución nutritiva cuando son cultivados en laboratorio, para su mejor desenvolvimiento. Las plántulas de cacao necesitan 2 ppm de Al en la solución nutritiva. Las Ciperáceas, como "cabelo-de-porco" crecen en suelos con altas concentraciones de aluminio intercambiable, pudiendo soportar cantidades que matan a cualquier otro vegetal, a no ser "samambaias" (helechos). Muchas especies de Rubiáceas, a las cuales pertenece el cafeto, todas las Teáceas, a las que pertenece el té-de-la-India, muchas Lauráceas, a las cuales pertenece el laurel, todas las "samambaias" y muchos árboles del "cerrado" acumulan aluminio en sus hojas, en una cantidad que puede ascender hasta 10 mg por cada gramo de sustancia seca (21). Por eso, la aparición de "samambaia" en un campo para agricultura o ganadería, es señal segura de altos porcentajes de aluminio intercambiable en el suelo, lo que, sin embargo, no excluye que el suelo sea rico en nutrientes. En la figura 3-6 se comprueba que, a medida que disminuye la capa suelta y bien agregada en la superficie del suelo y aumenta la capa compactada, disminuye el porcentaje en fósforo disponible y el pH, mientras aumenta el aluminio disponible, aunque se trate del mismo suelo, una vez suelto, y la otra vez compactado (ver también fig. 2-26).

El problema mayor del suelo tropical no es, entonces, la presencia de aluminio tóxico, sino la compactación del suelo, que permite el aumento de aluminio hasta niveles tóxicos (88) (ver capítulo 2).

En un oxissol, de buena fertilidad inicial, con un 72 % de arcilla y un 12 % de limo, y un complejo de cambio del 12 %, fueron logrados los siguientes datos sobre los problemas causados por el cultivo inadecuado del suelo.

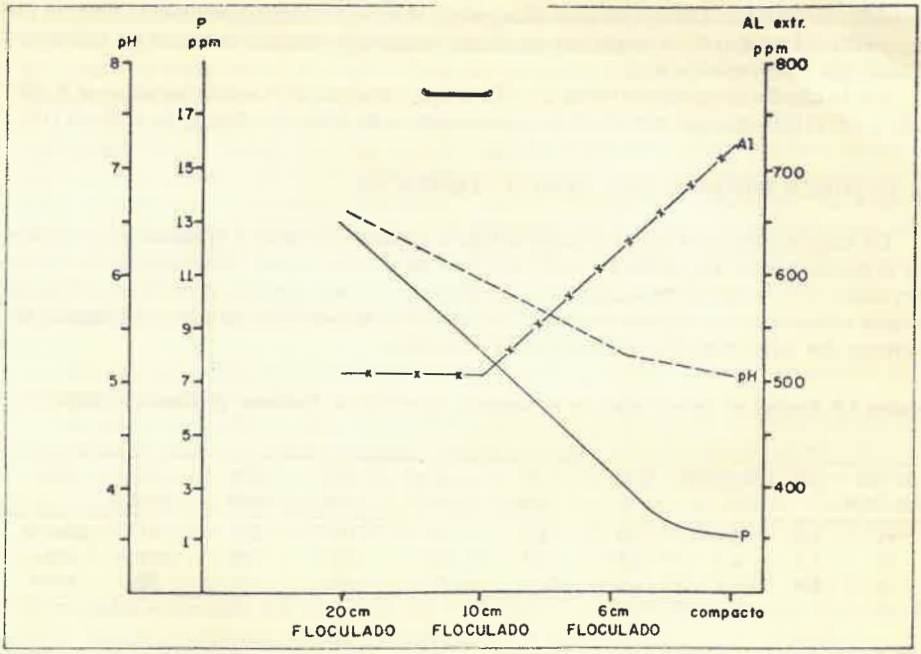


Fig. 3.6 *Efecto de la compactación del suelo sobre el pH, P y Al (***Watts,** *1973).*

Cuadro 3.8 *(***Primavesi,** *1973)*

Años de cultivo	*pH*	*pH/SMP*	*P* mg/kg	*Al interc.* me%	*M. O.* %	*Agregados estables en agua*
"mata" virgen (selva)	4,9	6,1	3,2	1,2	5,2	60,1
Desmonte reciente	5,8	6,6	12,1	0,4	4,5	63,4
2° año	7,3	6,6	27,0	0,4	3,8	62,3
15° año	5,4	6,4	7,0	0,6	3,0	29,7
25° año	4,2	5,8	7,5	2,1	2,6	25,4

(Obs.: fueron medidos los agregados de 0,5 a 1,0 mm de tamaño en tamiz húmedo.)

La mata o selva fue desmontada por el fuego, y las cenizas se incorporaron al suelo. El efecto acumulado de ceniza y de la descomposición de materia orgánica por la aireación del suelo, provocó en el primer año, y especialmente en el 2°, un aumento vigoroso de todas las condiciones del suelo, proporcionando cosechas records. Después del tercer año se inició la degradación de la bioestructura y, al mismo tiempo, el deterioro de todas sus condiciones físicas, químicas y biológicas. La fertilización y el encalado tuvieron un efecto muy pequeño en los últimos tres años, no habiendo podido aumentar sustancialmente la cosecha, de modo que la producción se tornó cara. La razón de esto es la bioestructura decaída, arruinada, del suelo, la oxigenación deficiente de las raíces y el aumento del aluminio de cambio. Los problemas con toxicidad de aluminio normalmente se inician cuando el pH desciende por debajo de 5,5 o sube sobre 9,0 (76). Eso, en suelos arcillosos donde en este pH sobreviene la desagregación de la hidroarcilla. Se alcanza el valor máximo de Al inter-

cambiable en pH 4,1. Debajo de esta cifra, el Al intercambiable normalmente decrece de nuevo (83). El peligro de la aparición de Al intercambiable siempre es mayor en suelos arcillosos que en los arenosos.

Por lo común es suficiente elevar el pH a 5,3, y para los cultivos más sensibles al Al tóxico, a 5,5 (15), que equivale al pH en que comienza la absorción buena de fósforo (18).

LA RIQUEZA MINERAL DEL SUELO "TROPICAL"

En toda la literatura sobre el tema se liga la riqueza del suelo a la cantidad de arcilla que el mismo posee. Sin embargo, esto vale para las arcillas menos hidratadas de las zonas templadas. Con la rápida degradación de las arcillas en clima tropical, el tenor en arcilla no siempre coincide con la riqueza en elementos nutritivos disponibles, ya que su capacidad de mantener los nutrientes disponibles es muy reducida.

Cuadro 3.9 *Análisis de tierras rojas del Amazonas, Territorio de Roraima.* (**Primavesi**, *1970)*

Arcilla + % limo	*pH*	*pH/SMP*	*M.O.* %	*P* ppm	*K* ppm	*Ca* ppm	*Mg* ppm	*S* ppm	*Uso*
55	5,2	6,9	2,2	2,5	30	150	200	51	pastaje
55	5,2	6,5	3,3	2,5	25	430	200	7	selva
5	5,4	7,1	3,3	11,0	25	350	180	28	selva

Se observa que la riqueza en calcio disponible en el suelo, en la selva, depende de la materia orgánica y de la presencia de árboles que bombean nutrientes a la superficie y, sólo en parte, del tenor en arcillas.

La capacidad del suelo tropical en intercambiar cationes (CTC), es decir, de mantener calcio, potasio, magnesio y sodio disponibles para la planta, depende en parte del tenor en materia orgánica.

Así es posible que un suelo con apenas un 5 % de arcilla, casi posea tantos cationes disponibles como uno con 55 % de arcilla.

Un suelo podzólico rojo de São Paulo, recogido de las diversas alturas de una ladera, dio los siguientes resultados:

Cuadro 3.10

Arcilla	*M.O.* %	*CTC* me %	*Saturación en cationes,* me %
5	0,15	1,9	1,5
5	3,20	10,4	8,8
25	3,20	17,7	5,0

Estos valores oscilan, sin embargo, de un suelo a otro, aun si pudiéramos decir que un 5 % de caulinita en un suelo posee en promedio una capacidad de cambio de 2,0 me % y 1 % de materia orgánica de aproximadamente 2,0 a 2,7 me %. En suelos ricos, la capacidad de cambio de la materia orgánica es mayor que en los pobres. Para una buena producción, los valores menores que 15 me % de cambio parecen desfavorables. Eso significa que un suelo arcilloso con 10 me % de CTC necesita más de 3,5 a 4 % de materia orgánica para producir adecuadamente. Mayores cantidades de materia orgánica no parecen necesarias, y hasta pueden ser perjudiciales, aparte de ser casi imposible alcanzarlas. Según **Scheffer**

(1956), las raíces de las plantas son más cortas en suelos humosos, pero también, más voluminosas. Se desarrollan, por lo tanto, en las capas más superficiales, lo que, en clima cálido, puede ser peligroso en la estación seca, cuando generalmente la humedad adecuada del suelo se encuentra por debajo de los 50 cm de profundidad (ver capítulo 4).

Parece acertada la tendencia de mantener un nivel de materia orgánica en el suelo no menor de 3 % y no mayor del 4 %, cantidad que encontramos justamente en la mayoría de los suelos tropicales vírgenes. *Vírgenes* son los suelos selváticos primarios, y no pastajes nativos anualmente quemados, "cerrados", matos (bosques secundarios) sin cultivar[6], tierras abandonadas o cualquier otro suelo destruido por la acción del hombre y por el uso indiscriminado de fuego y, por eso, ocasionalmente fuera de cultivo y de uso.

EL SILICIO EN EL SUELO TROPICAL

La alta solubilidad del silicio en clima tropical conduce a la des-silificación de los suelos y la degradación de las arcillas.

El silicio se pierde en suelos con pH debajo de 5,5 (5) y el suelo se torna inferior en su capacidad de producir. Pero contribuye igualmente para el endurecimiento extremo de los suelos arenosos en la zona tropical, durante la estación seca. La riqueza de los suelos en hierro y aluminio se debe justamente a la hidrólisis de los silicatos de hierro y aluminio (35), sucediendo después una relación de óxidos de hierro más aluminio/óxido de silicio mayor que 2,5. A este proceso de des-silificación se le llama laterización.

En clima templado, el cuarzo es considerado como poco soluble; sin embargo, en clima tropical es atacado por bacterias que contribuyen a su solubilización (6). Parte del silicio es absorbido por las plantas, contribuyendo a la firmeza del tejido vegetal.

La paja de cereales y gramíneas es especialmente rica en silicio.

Aun en clima templado el trigo absorbe aproximadamente 120 kg/ha de óxido de silicio, y al suelo selvático retornan anualmente 250 kg/ha de SiO_2, por las hojas caídas (72).

Cada 100 g de suelo puede haber 50 mg de Si solubles en agua y hasta 600 mg solubles en ácidos orgánicos débiles (8).

Mientras el fósforo y el molibdeno contribuyen a la precipitación de silicio, hierro y manganeso, en el suelo, el ácido cítrico excretado por las raíces, los mantienen en solución.

Cuando arenas como las amazónicas son ricas en minerales como augita, hornblenda, feldespato y biotita, cantidades muy grandes de silicio pueden ser solubles. En la época de sequía provocan la *vitrificación* de estas arenas, que es tanto mayor cuanto más degradado estuviere el suelo, es decir, cuanta menos materia orgánica, calcio y fósforo contuviere el suelo. Los suelos menos degradados, especialmente cuando tienen todavía suficiente materia orgánica, no se vitrifican con la sequía, porque la movilidad del fósforo reduce la solubilidad del silicio (14, 16).

Consecuentemente hay una laterización muy rápida de suelos pastoriles periódicamente quemados, donde escasean la materia orgánica y el fósforo. Las capas de *pizarra laterítica* o *cascajo concrecionario* en el horizonte B son gruesas, desvalorizando los suelos. Se evita la vitrificación de los suelos con un encalado, que modifica el pH, ya que ésta ocurre especialmente en suelos con pH entre 3,0 y 5,0. Todas las medidas que aumentan el pH "ablandan", pues, el suelo tropical en la estación seca. El pH también se eleva por el uso de cantidades moderadas (8 a 10 t/ha de restos de cultivos) de materia orgánica, a través de la alcalinización por bacterias aeróbicas que ella sustenta (6, 51) (ver capítulo 4). Pero la polimerización de los ácidos silícicos y su vitrificación sólo se procesa cuando son calentados, sea por quema, sea por el sol (33).

El sombreado del suelo es, pues, otro método de evitarla. La quema de tierras de pastura durante la sequía, sin embargo, es uno de los factores que promueve el "endurecimiento" de las arenas tropicales.

[6] El bosque que se instala en suelos arruinados ("capoeira") es un ejemplo típico. (*J.S.M.*)

Resumen

El suelo tropical es un ecosistema apropiado para el clima cálido. En estado virgen dispone de una bioestructura grumosa muy ventajosa para la expansión radicular. Esta bioestructura se forma de los agregados, floculados por la presencia de óxidos de hierro y aluminio, gracias a la actividad biológica. Para eso necesita de materia orgánica, y como ésta sufre descomposición rápida en clima tropical húmedo, es indispensable su reposición periódica.

La pobreza mineral del suelo tropical no constituye una desventaja mientras su bioestructura es buena, lo que prueba la vegetación exuberante en suelos vírgenes. En parte posee tenores elevados de aluminio a los que la vegetación tropical está adaptada.

Las plantas de cultivo "importadas" de otros climas, en parte, ya tienen desarrollada resistencia a concentraciones grandes de aluminio. La toxicidad del aluminio no es absoluta sino relativa y depende de su equilibrio con los demás cationes (Ca, Mg, K, Na), de la especie y variedad vegetal, y de la saturación del complejo de cambio por aluminio y bases (100 Al/Al + S). En estado adensado o compactado, la producción del suelo tropical es muy reducida, reaccionando poco a los fertilizantes.

El mantenimiento de buenas condiciones de producción depende, por lo tanto, de:

1. la conservación de su bioestructura grumosa, especialmente en la capa superior del suelo, contribuyendo a la protección contra lluvias e insolación, la reposición de materias orgánicas y el mantenimiento de un pH mayor a 5,3;
2. la utilización de técnicas que evitan la formación de compactaciones (ver capítulo 9);
3. la fertilización dirigida (ver capítulo 8);
4. el mantenimiento de un clima favorable, sin temperaturas extremas, lo que influye positivamente sobre la distribución de las lluvias (78). Para eso se necesita mantener selvas en suficiente cantidad.

Se debe recordar que los suelos de valles, por lo general, tienen otro tipo de arcillas y, por lo mismo, reaccionan diferentemente a las técnicas agrícolas, son más viscosos (pegajosos) y muchas veces precisan un encalado mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Addiscott, T. M.**- 1972 - Intercambio K/Ca en experimento realizado en suelos de Broadbalk. *Rev. Potasa 4/49.*
2. **Batey, Th.** - 1973 - Aulas de manejo do solo, no *curso de Pós-graduação em Biodin. e Produt. do Solo, Sta. Maria/RGS.*
3. **Baver, L. D.** - 1968 - The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia, 32:383-413.*
4. **Ben, J. R.** - 1974 - A absorção de fósforo pela cevada. *Tese de M. S. Sta. Maria/RGS.*
5. **Beckwith, E. S.** e **R. Reeve,** - 1964 - Solubility of silicia in acid soils. *Austral J. Soil Res. 2:33-45.*
6. **Berthelin, J.** - 1971 - Transformation d'un sable granitique por activité bacterielle. *Sci. Sol. 1:11-29.*
7. **Bezerra de Oliveira, L.** - 1967 - O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. *Pesq. agropec. bras. 2:281-85.*
8. **Birch, H. F.** - 1953 - The solubility of silicia in soils. *J. agric. Sci. 43:229-32.*
9. **Black, C. A.** - 1957 - Soil-plant relationship. *Wiley, New York.*
10. **Bodziak, Jr. C.; D. M. Paula Souza** e **J. C. Stengel Ripsolli,** - 1966 - Estudos comparativos da fertilidade de alguns solos da região cafeeira do Paraná. *Rev. Esc. Agron. Vet. (Paraná), 2 (único):43-93.*
11. **Buckmann, H.O.** e **N.C.Brady,** - 1966 - Natureza e propriedades dos solos. *Bibliot. Freitas Bastos, S. Paulo.*

12. **Callot, G.** e **C. Juste,** - 1971 - Classification des sols acides et humiques, formés sur sediments alluviales des fleuves pyrennieus. *Sci. Sol. 2:5-6.*
13. **Donahue, R. L. J.; C. Schickluna** e **L. S. Robertson,** - 1972 - Soils, an introduction to soils and plant growth. *Prentice-Hall, New Jersey.*
14. **Elgawhary, S. M.** e **W. S. Lindsay,** - 1972 - Solubility of silicia in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 (3):439-42.*
14a. **ElSwaify, S. A; S. Ahmed** e **S. D. Swindale,** - 1970 - The influence of exchangeable cátions on the physical properties of tropical red and black Soils. *Soil Sci. 21:188-98.*
15. **Fink, A.** - 1963 - Tropische Böden. *Parey, Hamburg.*
16. **Flach, K. W.; W. D. Nettleton; L. H. Gile** e **J. G. Cady** - 1969 - Pedocementation and hardening by silicic acid. *Soil Sci. 107:442-52.*
17. **Fleming, A. L.** e **C. O. Foy,** - 1968 - Root struture reflecting differentail tolerance of wheat varieties. *Agron. J. 60:172-76.*
18. **Garcia Blanco, H.; W. R. Venturini** e **H. Gargantini,** - 1965 - Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo para trigo, com estudo de efeito residual. *Bragantia, 24 (22):261-79.*
19. **Garkuscha, J. F.** -1953 - Bodenkunde, *Deutscher Bauernverlag, Dresden.*
20. **Glinka, K.** - 1914 - Die Typen der Bodenbildung, *Gebr. Borntträger, Berlin.*
21. **Goodland, R.** - 1971 - Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simp. sobre o Cerrado. USP, pp 44-59.*
22. **Grohmann F.** - 1960 - Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia, 19 (21):319-27.*
23. - - - - - - - -, - 1972 - Superfície específica do solo de mapeamento do Estado de São Paulo. II: Influência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livre e dos cátions trocáveis na superfície específica do solo. *Bragantia, 31 (14):167-85.*
24. - - - - - - - -, **J. B. Oliveira, de,** e **J. P. Queiroz Neto, de;** - 1966 - Influência da adubação nas características dos agregados do solo da série "Chapadão". *Bragantia, 25 (34):263-70.*
25. - - - - - - - -, e **J. P. Queiroz Neto, de;** - 1966 - Efeito da compactação artificial de solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia, 25 (38):421-32.*
26. **Hall, J. K.** e **D. E. Baker,** - 1971 - Phosphorus fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminium. *Soil Sci Soc. Amer. Proc. 35 (6): 876-81.*
27. **Hallsworth, E. G.** e **D. V. Crawford,** - 1965 - Experimental Pedology. *Butterworth, London*
28. **Hardy, F.** - 1970 - Suelos Tropicales. *Herrero, México.*
29. **Harris, R. F.; G. Chester** e **O. N. Allen,** - 1966 - Soil aggregate stabilization by autochton micoorganisms in dependance of temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30 (1): 205-10.*
30. **Harrison, J. B.** - 1934 - Formation of clays in tropical climas. *Imp. Bur. Soil Sci. pp 79-85.*
31. **Hillel, D.** e **W. R. Gardener,** - 1970 - Non stationary infiltration in profils which have surface crusts. *Soil Sci. 109:69-76.*
32. **Hoagland, D. R.** e **D. I. Arnon,** - 1950 - The water culture method. *Univ. Berkeley.*
33. **Holt, P. F.** e **D. T. King,** - 1955 - em **Primavesi, A.** 1964, *A biocenose do solo. Palotti, Sta. Maria/RGS.*
34. **Jackson, M. L.S.; A. Tylers** e **A. L. Willes** e o. - 1948 - Rock weathering and soil formation. *J. Phys. Coll. Chem-52: 1237-60.*
35. **Jackson, M. L.** e **G. D. Sherman,** - 1953 - Soil Chemical analysis. *Advance Agron. 5:219-25.*
36. **Jenny, R.** e **C. D. Leonhard,** - 1934 - The influence of precipitation on soil development *Soil Sci. 38:363-71.*
37. **Kellermann, V. V.** e **I. G. Tsyurupa,** - 1966 - Role of iron and organic matter in the aggregation of the soil components. *Pochvov. 8:940-47.*
38. **Kichuth, R.** - 1970 - Ökonomische Leistung höherer Pflanzen. *Naturwiss. 57:55-61.*
39. **Kovda, V.** - 1972 - Vers une fertilitée controllée des sols. *Nature et Res. VIII (2):22-4.*
40. **Küpper, A; F. Grohmann** e **C. M. Franco** - 1977 - A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. *An Congr. bras. pesq. cafeeira, Guarapari, ES.*

41. **Kubiena, L. W.** - 1964 - *comunicação pessoal.*
42. **Lance, J. C.** e **R. W. Pearson,** - 1969 - Effect of low concentration of aluminium on growth and water und nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33 (1): 95-98.*
43. **Lee, C. R.** - 1971 - Influence of aluminium on plant growth and tuber yield of potatoes. *Agron. J. 63:363-64.*
44. **Lipman, C. B.** - 1938 - Importance of silicon, aluminium and chlorine for higher plants. *Soil Sci. 45:189-98.*
45. **Lund, Z. F.** - 1970 - The effect of calcium and its relation to several cations on soybean root growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(3) 456-59.*
46. **McNeal, B. K.; D. A. Layfield** e o. - 1968 - Factors influencing hidraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32 (2):187-90.*
47. **Mengel, K.** - 1965 - Ernährung und Stoffwechsel der Pflanzen. *Fischer, Jena.*
48. **Minotti Bloise, E.; F. A. Castro, de** e **J. V. Vavra,** - 1971 - Estudos de calagem conforme a relação de alumínio trocável para bases trocáveis. *XIII Congr. bras. ciência solo, Vitória.*
49. **Miranda, E. R.** e **A. C. Costa Pinto Dias,** - 1971 - Efeito da saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. *Theobroma, 1 (3):33-42.*
50. **Mohr, E. C. J.** e **F. A. Baren,** - 1954 - Tropical soils. *Royal Trop. Inst. Amsterdam.*
51. **Morris, D. O.** - 1971 - Acids and alcali production by Rhizobium. *Rhiz. Newsletter, 16 (1):30-32.*
52. **Moura Fº, W.** - 1966 - Characterization of physical, chemical and micromorphological changes provoked by the cultivation of soil in the triângulo of Minas Gerais. *MS thesis, Soil Sci. Dept. North Carol. State Univ.*
53. **Oliveira J. B. de; F. Grohmann** e **J. P. Queiroz Neto, de;** - 1966 - Características dos agregados de solo podzólico vermelho amarelo da Estação experimental de Monte Alegre do Sul. *Bragantia, 25 (40):445-50.*
54. **Patella, J. Jr.; L. F. Carvalho** e **M. O. Machado.** - 1969 - Resultados de calagem na cultura de trigo. *Reunião Lab. Solos, Campinas.*
55. **Peinemann, N.** e **E.A. Ferreira** - 1972 - Accumulation of amorphous silicon in the pampas plaine (Argentina). *Z. Pflanzenern, Bodenkd. 132 (1):1-4.*
56. **Pignataro, I; S. Carvalho** e **J. D. Jobim** , - 1973 - A influência de matéria orgânica sobre diversos fatores do solo. *Curso de Pós-graduação em Bodin. Prod. Solo. Não public.*
57. **Pionke, H. B.** e **R. B. Corey,** - 1967 - Relationship between acidic aluminium and soil pH, clay and organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31 (6):749-52.*
58. **Primavesi, A** e **A, M. Primavesi,** - 1964 - A biocenose do solo. *Palotti, Sta Maria/RGS.*
59. - - - - - - - - e - - - - - - - - - 1964 - Factors responsibles for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa Estruturada soils in eastern Brazil. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 28 (5):579-80.*
60. - - - - - - - -, - 1968 - A manutenção da estrutura ativa do solo e sua influência sobre o regime hídrico do solo. *Progr. Biodin. Produt. Solo, IV:447-62.*
61. - - - - - - - -, e **A. M. Primavesi,** - 1969 - Constant relation of available nutrientes in various soil units in Rio Grande do Sul, *Agrochim. 15(2):212-17.*
62. - - - - - - - -, - 1969 - Nutzlandgewinnung in den Tropen und Subtropen. *Bodenkult. 20 (1):1-16.*
63. **Primavesi, A. M.** e **A. Primavesi,** - 1969 - Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo. III:253-68.*
64. - - - - - - - -, - 1969 - Influência da estrutura do solo e de micronutrientes na cultura de milho. *XII Congr. bras. Ciênc. solo, Curitiba.*
65. - - - - - - - -, - 1970 - Relatório para o Projeto Rondon sobre as pastagens no Território de Roraima.
66. - - - - - - - -, e **A. Primavesi,** - 1973 - Agregação de solos ácidos arenosos e argilosos pelos produtos de atividade de bactérias celulolíticas na decomposição semi-aeróbia de palha. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta. Maria/RGS.*
67. **Raij, B. van;** -1969 - A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. *Bragantia, 28 (8):85-112.*
68. **Ranzani, G.** - 1971 - Solos do cerrado no Brasil. *III Simpos. sobre cerrado, pp 26-43.*
69. **Rickard, W. H.** e **R. F. Kedugh;** - 1968 - Plant relationship of two desert shrubs. *Plant & Soil, 29:205-12.*

70. **Rode, A. A.** - 1968 - Soil Science, Israel. *Progr. Scient. Transl. Jerusalem.*
71. **Robinson, G. W.** - 1949 - Soils, their origin, constitution and classification, *3 ed. London.*
72. **Russell, E. W.** - 1961 - Soil conditions and plant growth. *9 ed Longmanns & Green, London.*
73. **Sanchez, P. A.** e **S. W. Buol,** - 1971 - Características morfológicas, químicas y mineralógicas de algunos suelos principales de la selva amazônica peruana. *Progr. Nac. Arroz, Inf. Técn. 56.*
74. -------- e **A. F. A. Furtado,** - 1963 - Alteração de rochas e formação de solos. *Agron. Lusit. 896-903.*
75. --------, - 1972 - The review of soil research in tropical Latin America. *USAID, North Carolina Univ.*
76. **Schachtschabel, P.** - 1971 - Ursachen und Natur der Bodenazidität. *Landw. Forsch, 26 (1):55-64.*
77. **Schahabi S.** e **U. Schwertmann,** - 1970 - Wirkung von steigenden Kalkgaben auf die Wasserstabilität der Bodenaggregate in zwei sauren Loessböden. *Landw. Forsch. 23 (2) 135-41.*
78. **Scheffer, F.** e **P. Schachtschabel,** - 1952 - Bodenkunde. *Enke, Stutgart.*
79. **Silva, A. da;** - 1968 - Panorama e perspectivas de investigação sobre a física do solo em Portugal. *Agron. Lust. XXV (VI):1023-36.*
80. **Snedaker, S. C.** -1970 - Ecological studies in tropical moist forest sucession in eastern lowland Guatemala. *Tesis, Univ. Florida.*
81. **Stevenson, D. S.** - 1970 - The influence of soil, space and fertilization on growth and nutrient content of sunflower. *Canad. J. Soil Sci. 50:353-60.*
82. **Tedrow, J. P.** - 1966 - Arctic desert soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30 (2): 381-87.*
83. **Tucker, B. M.** - 1964 - Exchangeable aluminium in relation to the pH of the soil. *Austral. J. Soil Res. 2:56-66 e 67-75.*
84. **Viera, L. S.** - 1975 - Manual da Ciência do Solo, *Ceres, São Paulo.*
85. **Vageler, P.** - 1933 - An introduction to tropical soils. *MacMillan, London.*
86. **Wambecke, A.** - 1967 - Neue Entwicklung in der Klassifikation von Böden in den Tropen. *Soil Sci. 104:309-13.*
87. **Wagner, H.** e **H. Lenz,** - 1953 - El bosque y la conservación del suelo. (traduz. **Primavesi, A.**), *Melhoramentos, São Paulo.*
88. **Watts, M.; L. Covolo** e **W. Silveira,** - 1973 - Influência da compactação artificial do solo sobre o desenvolvimento de milho. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. não public.*
89. **Wiersum, L. K.** - 1961 - Utilization of soil by the plant root system. *Plant & Soil, 15: 189-92.*
90. **Wrigley, G.** - 1969 - Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*
91. **Martin W. S.** - 1944 - Grass cover in their relation to soil structure. *Emp. J. exp. Agric. 12:21-32.*
92. **Evans, H,** - 1936 - The root system of sugar cane. *Pt. II, Emp. J. exp. Agric. 4:208-20.*

Capítulo 4

LA MATERIA ORGANICA

Concepto y efecto

Se sabe que la materia orgánica es indispensable para el mantenimiento de la micro y mesovida del suelo. Y no hay duda de que la bioestructura y toda productividad del suelo se basa en la presencia de materia orgánica en descomposición o humificada. Pero aun así, el concepto de materia orgánica es, generalmente, muy vago.

¿Qué es materia orgánica? Es toda sustancia muerta en el suelo, ya sea que provenga de plantas, microorganismos, excreciones animales (de la fauna terrestre), ya sea de la meso y macrofauna muerta.

Las raíces vivas no constituyen materia orgánica, como tampoco los animales que viven sobre el suelo. Por otro lado, ¡no sólo el humus es materia orgánica y no toda materia orgánica es humus!

La noción equivocada sobre materia orgánica se debe al modo de analizarla, determinando el tenor en carbono de un suelo, suponiéndose que éste, en su totalidad, estaría representado por humus, ácidos húmicos y humatos. Se saca en conclusión, por lo tanto, que siempre debe ser de alto valor para el suelo. Pero como en las zonas tropicales justamente los suelos con mayor acumulación de materia orgánica y mayor tenor en carbono casi siempre son los peores para la agricultura, se deduce que la materia orgánica no tiene valor para los suelos tropicales y subtropicales, a los cuales ni siquiera consigue dar color oscuro (97), resultado de la formación de melaninas y fenoles en la descomposición de materia orgánica por hongos.

Como máximo se admite que la materia orgánica tenga alguna importancia en el suministro de nitrógeno a las plantas, aunque, al no ser fuente primaria pero sí, en su mayor parte, vegetales muertos, éstos deberían haber recibido el nitrógeno de alguna fuente. En campos de arroz irrigado no existe relación entre el tenor de materia orgánica y el nitrógeno a disposición de las plantas, y en los suelos de cultivo de secano la relación es pequeña.

La materia orgánica del suelo, poseyendo un promedio del 58 % de carbono (por eso el valor de conversión de 1,72), existe en parte como hojas y raíces muertas, en parte como productos intermediarios de descomposición, como ácidos poliurónicos y en parte, a veces, como sustancias húmicas.

Descomponiéndose el humus, se pierde la estructura del suelo, descomponiéndose los restos vegetales se forma la estructura durante la primera fase de descomposición. Lo que posee fuerza agregante, en este caso, no es el humus, pero sí el producto intermediario de la descomposición bacteriana, los ácidos poliurónicos, un producto incoloro o blancuzco, incapaz de dar color al suelo (97), pero capaz de floculario (67).

Es obvio que la simple evaluación del tenor de carbono en el suelo no nos puede dar información alguna sobre el efecto que tendrá sobre sus propiedades físicas (55).

CONDICIONES BAJO LAS QUE SE FORMA EL HUMUS

Como en clima templado la mayor fracción de materia orgánica se encuentra humificada, debido a la descomposición muy lenta en esas latidudes, se tomó como seguro que el humus tendría que acumularse en cualquier suelo del mundo entero, lo que, infelizmente, no es verdad. Así, en los suelos tropicales, una concentración mayor de humus indica condiciones deficientes de descomposición, clima frío, acidez elevada en el suelo, falta de humedad, etc.

Por mucho tiempo sólo se supo que el humus era una sustancia marrón oscura, quebradiza, más o menos rica en nitrógeno, calcio y fósforo, y que se formaba de restos orgánicos, no obstante, sin presentar la estructura de éstos.

Más tarde se descubrió que eran especialmente las ligninas que daban origen al humus, por ser de difícil descomposición y por eso más lenta, dependiendo de la acción de hongos y actinomicetos.

Las ligninas siempre se descomponen en un primer período por hongos y actinomicetos, que son los únicos que consiguen romper los ciclos estructurales muy complejos. Estos hongos, como el *Epicoccum nigrum*, también producen el color oscuro, típico de los fenoles y melaninas (30, 36, 62).

En un medio semi-aeróbico, la descomposición continúa por hongos. En condiciones aeróbicas y clima suficientemente cálido, es continuada por bacterias. Estos son descomponentes muy eficientes, no quedando más nada que CO_2, agua y minerales. Por eso se distingue entre el "humus de consumo", o materia orgánica de fácil descomposición, y el "humus de reserva", la materia orgánica de difícil descomposición, y que por lo mismo, se acumula en el suelo (91).

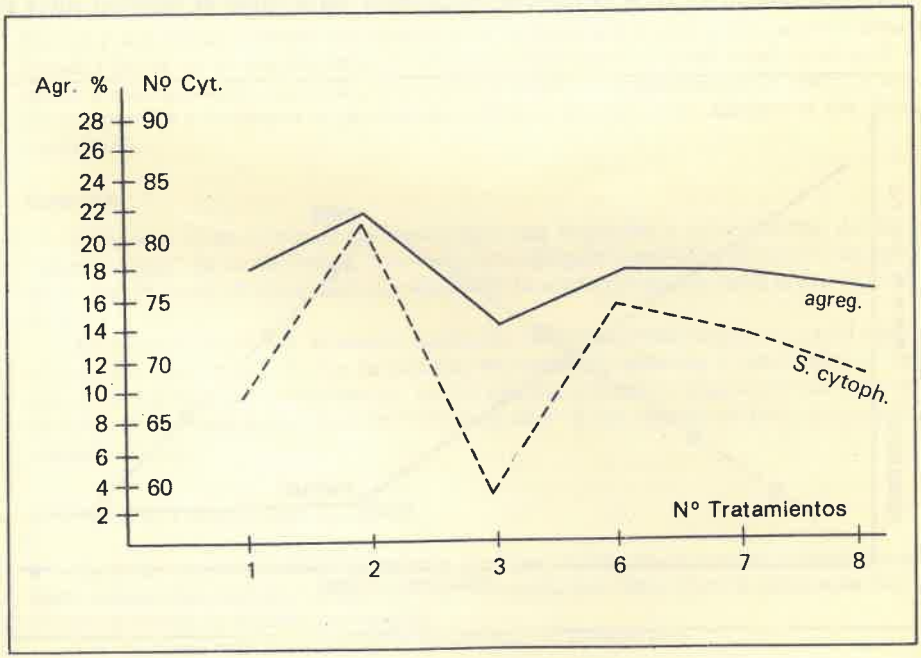


Fig. 4.1 *Relación entre el número de Sporocytophagas y de agregados estables al agua de un suelo* (**Primavesi**, *1973*).

Hay una gran diferencia entre la materia orgánica descomponible y la materia orgánica humificada. El humus es un producto de descomposición parcial con posterior síntesis. Cuando se ha formado en un suelo con pH arriba de 5,6 es una sustancia agregadora de grumos. Cuando se descompone, se descomponen las ligas orgánicas entre las partículas del suelo y, por lo tanto, la estructura biológica decae al deshacerse los agregados mayores. El suelo se torna amorfo. La pérdida del humus es, por lo tanto, la pérdida de la bioestructura del suelo y, con ello, la pérdida de gran parte de su productividad (3, 82, 86, 91).

La paja y cualquier materia orgánica muerta, pero todavía intacta, no tienen efecto sobre la estructura del suelo. Sólo durante su descomposición es que se forman sustancias agregantes y estabilizantes para los grumos, y especialmente los ácidos poliurónicos, producidos por *Cytophagas*, ejercen gran efecto (67, 99).

Se comprueba en la figura 4-1 que existe una correlación entre el número de bacterias *Cytophagas* y los grumos del suelo, aunque aún más importante que la cantidad de bacterias sea su actividad que, a su vez, depende de la nutrición anterior.

Cuanto más intensa es la descomposición del material vegetal muerto, tanto mayor será su efecto agregante sobre el suelo. Es por eso que el estiércol endurecido de corral, aun siendo un compuesto, no tiene el mismo efecto agregante que la paja adicionada al suelo (57, 104). De esta forma, cuanto mayor sea la descomposición de los restos vegetales y cuanto más activa la formación de sustancias intermediarias de descomposición, tanto mayor efecto tendrá sobre la estructura del suelo, y tanto más benéfico será. La diferencia fundamental entre el humus y los restos orgánicos es que el humus ya constituye un producto intermediario de descomposición, mientras que en los restos vegetales, éstos todavía deben ser producidos (fig. 4-2).

Cuando, gracias a la acción de bacterias, disminuye la cantidad de materia orgánica todavía sin descomponer, el efecto sobre el suelo es benéfico. Cuando disminuye la cantidad de materia ya humificada, el efecto es perjudicial, como muestra la figura 4-2.

La disminución del valor de carbono en un suelo no es capaz de informar sobre el

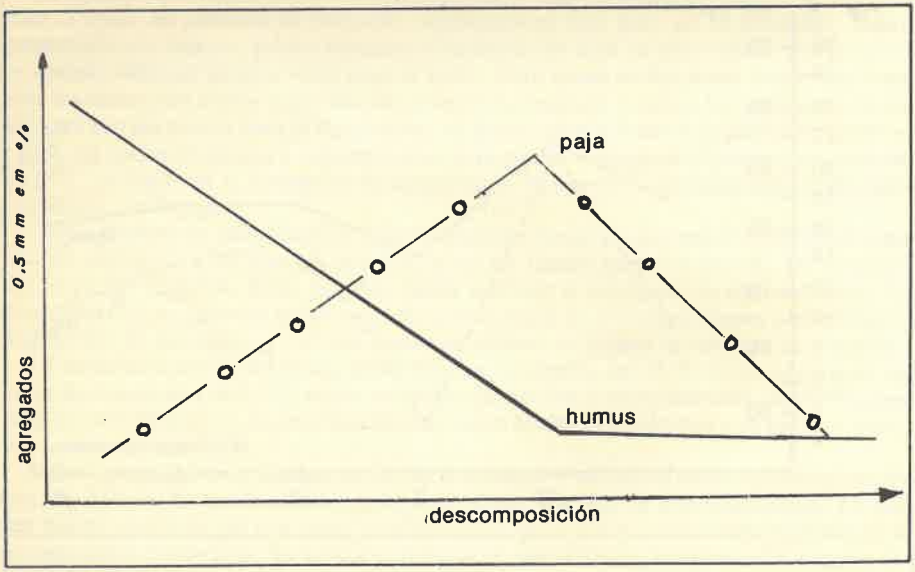


Fig. 4.2 *Efecto de la descomposición de paja y humus sobre la bioestructura del suelo (***Primavesi,** *1973).*

efecto. Y no es raro que se saque en conclusión: "disminuyó la materia orgánica y aumentó la cosecha, entonces la materia orgánica no es necesaria". Pero, ¿se sabe qué tipo de materia orgánica existía en el suelo? ¿No era paja o raíces durante cuya descomposición se produjeron ácidos poliurónicos?

Si faltan las bacterias en la descomposición, como ocurre en los suelos naturales pastoriles y selváticos, especialmente en clima apenas templado y subhúmedo, entonces se produce la acumulación de humus en gran escala, como prueban los famosos Chernozen del sur de Rusia (56). Las sustancias llamadas ácidos húmicos no son solubles en agua, pero son de descomposición relativamente fácil. Sin embargo, si estas sustancias se secaran en un clima intensamente frío, con temperaturas por debajo de 0° C, se forman las huminas (99), que son sustancias extremadamente estables, ya que el proceso es irreversible. Estas huminas, se afirma, permanecen en el suelo durante milenios (55, 73, 94), y después de 3.000 años todavía fueron encontradas intactas, como prueba **Kononova** (1961). De esta forma contribuyen eficazmente al mantenimiento de la estructura del suelo, porque son casi indestructibles, a pesar de lo cual, también se consiguió destruir las tierras negras de Rusia, a través de una agricultura irracional (54).

No podemos esperar que exista esta forma de humus en los países tropicales y subtropicales, porque falta la condición básica: el frío intenso y seco (50).

En suelos agrícolas, en clima tropical y subtropical, donde predominan bacterias aerobias con su intensa actividad, la formación de humus es casi imposible (82). Con ello tendríamos un gran dilema: el humus acumulado en suelos nativos tropical y subtropical, ya sea de pastura o selvático, oscila, según la textura y el clima local, entre 3 y 6 % (20, 103, 105). De 1 a 3 años este humus sería gastado por el cultivo, o mejor, por las condiciones que reinan en un suelo cultivado. Como la pérdida de humus significa la pérdida de la productividad del suelo, eso representaría la necesidad de abandonarlo por 8 a 20 años, para que haya nueva acumulación de humus. Este es el sistema de agricultura nómade practicado en todas las zonas tropicales (14, 38, 76, 99). No obstante, si desistiésemos de producir humus y nos contentásemos con mantener la estructura del suelo, que, según **Primavesi, Rusell** y **Baver**, es lo más importante, entonces tendríamos la posibilidad de recurrir solamente a una aplicación periódica de paja en el suelo, para abastecerlo de material vegetal descomponible y conseguir la producción continua de sustancias agregantes (66, 67) (ver capítulo 9).

Resumen

El humus no se forma en las tierras agrícolas tropicales y subtropicales, debido a la "movilización" de su microvida. La producción dirigida y periódica de sustancias agregantes es, por lo tanto, el único medio de mantener la productividad de estos suelos (67, 82, 99, 100).

En suelos pastoriles y, en menor escala, en suelos forestales tropicales y subtropicales, se acumula humus (40). En los de pastaje, sin embargo, sólo hay acumulación de humus cuando se los maneja racionalmente, sin las quemas periódicas acostumbradas. En tierras de cultivo manejado en sistemas de "labranza cero" y con retorno de materia orgánica, se acumula humus.

FORMAS Y VALOR DEL HUMUS

Es evidente que no toda la materia orgánica es humus, y que no todo el humus es igual, considerándose, por ahora, sólo la influencia del clima. Pero la influencia del lugar en que se forma es mucho mayor (59).

Los factores más decisivos en la formación de humus son:

1. la vegetación de cuyos restos se forma (45, 60);
2. el clima reinante (16);

3. la riqueza o pobreza mineral del suelo (96);
4. el pH del suelo (51, 56);
5. los microorganismos activos en la descomposición (43, 84);
6. el manejo del suelo por el hombre (68).

Influencia de la vegetación

Sabemos que cada planta absorbe elementos. Así puede ser más rica en almidones y proteínas, como las leguminosas, o más rica en celulosa y ligninas, como las gramíneas y especialmente las raíces de éstas. La planta puede tener más o menos silicio; ser más o menos pobre en calcio como lo son la "barba-de-chivo" *(Aristida pallens)* o el "rabo-de-burro" *(Andropogon sp.)*, que son extremadamente pobres en calcio. Por otro lado, la mayoría de las leguminosas es considerada rica en calcio, como también muchas hierbas nativas de pastura, como tanchagem *(Plantago maior)* y otras (68, 79).

Hay plantas que movilizan y acumulan minerales y otras que se conforman con un ambiente pobre, creciendo con un mínimo de sustancias nutritivas, en un ciclo vegetativo muy corto (1).

Como la descomposición es realizada por microorganismos, y éstos poseen cada cual exigencias muy específicas para su nutrición, es lógico que cada tipo de vegetación también tenga su tipo de microorganismos que la descompongan. Pero como cada microorganismo produce sustancias intermediarias distintas en la descomposición, las sustancias que forman el humus también son las más variadas (8, 46, 52) (ver capítulo 6).

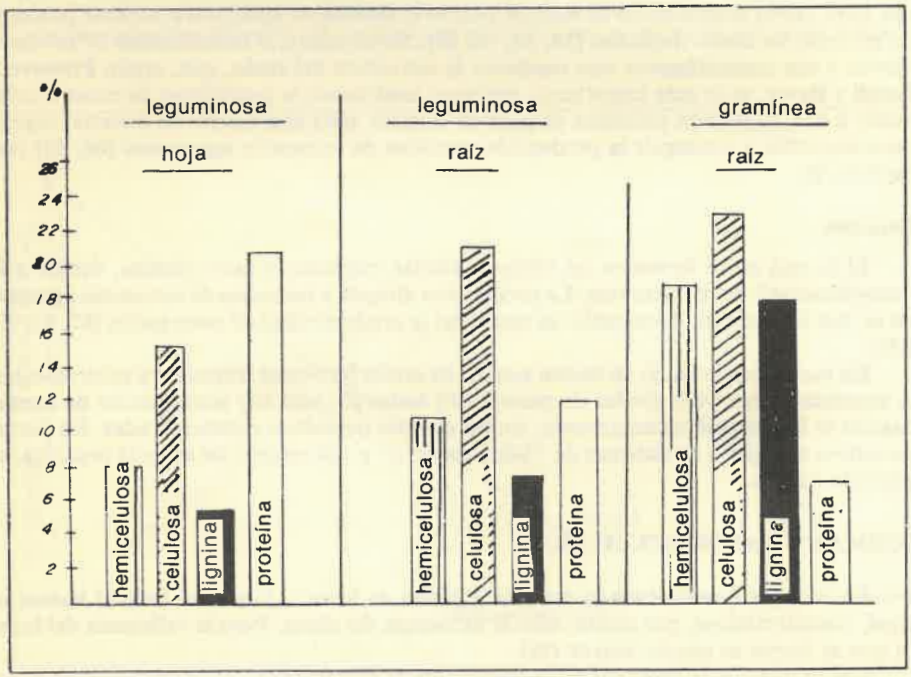


Fig. 4.3 *Composición de hojas y raíces, y su potencial para la formación de humus* (**Tyurin, 1965**).

Se sabe que sólo el material de difícil descomposición puede proporcionar humus. Mientras la hoja de la leguminosa es material rico en proteínas y, por lo mismo, de fácil descomposición, la raíz de las gramíneas ("capins") es muy rica en lignina y, por lo tanto, de descomposición más difícil, pudiendo proporcionar humus, cuando la descomposición ocurre en un medio semi-aerobio (fig. 4-3).

También la hoja y la raíz suministran productos diferentes, no sólo por causa de la aireación diferente del lugar de descomposición, sino especialmente por el mayor tenor en lignina de la raíz.

Mientras la hoja contiene 5,5 a 9 % de lignina, en la raíz ésta asciende hasta un 20 %, como por ejemplo, en el caso de las gramíneas (55).

Las sustancias de fácil descomposición son atacadas primero y, por lo general, rápidamente descompuestas hasta gas carbónico, agua y minerales. Un abono verde de leguminosas tiene poca posibilidad de permanecer en el suelo más allá de 6 semanas, de manera que no puede ser considerada como un enriquecimiento del suelo en materia orgánica, sino simplemente una fertilización nitrogenada, ya que su tenor en nitrógeno es alto.

Las gramíneas forrajeras, en especial cuando pueden desarrollar libremente sus raíces, son la manera más segura de enriquecer el suelo con sustancias húmicas (40).

La velocidad de descomposición no sólo depende de la aireación y de la cantidad y actividad de las bacterias, sino también del material a ser descompuesto y su relación C/N (83, 94).

Los almidones y proteínas son los primeros en descomponerse, seguidos de la celulosa. La lignina siempre es de descomposición más lenta, por ser de estructura química más compleja (fig. 4-4).

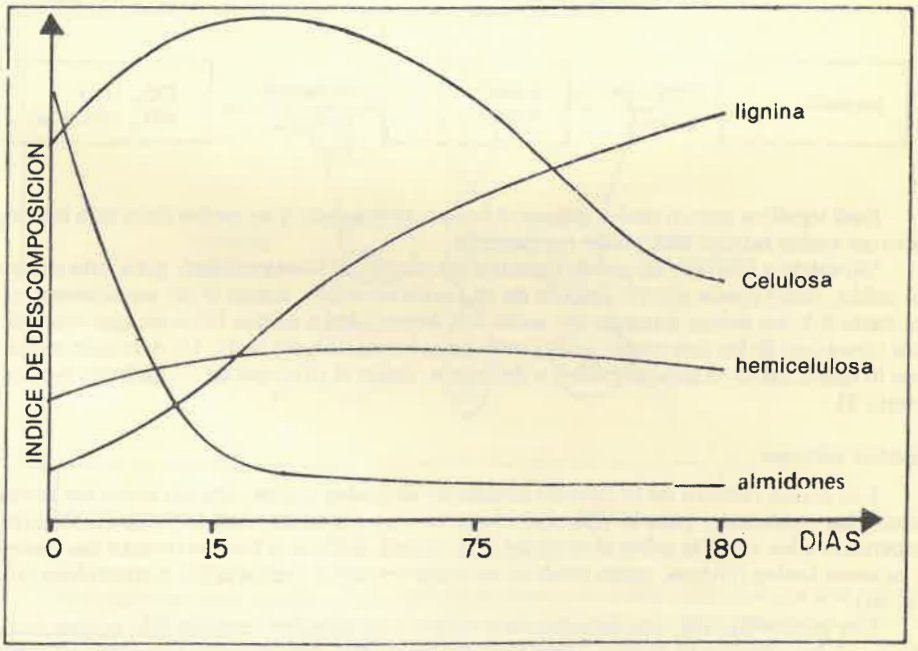


Fig. 4.4 *Velocidad de descomposición de las diversas fracciones de una raíz de leguminosa (***Kononova,** *1961).*

El pH

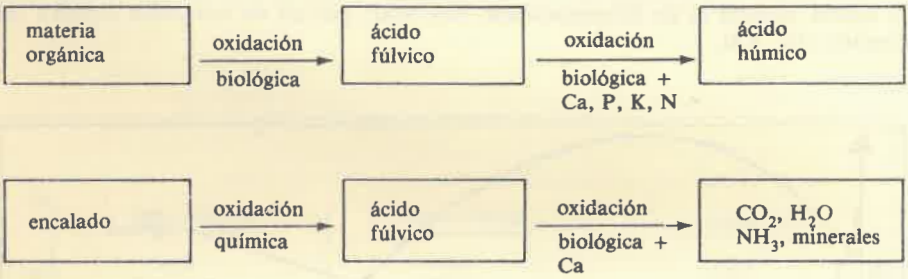
El pH es muy importante, no porque tenga efecto directo sobre la formación de humus, sino por su efecto indirecto sobre la concentración de elementos nutritivos a disposición del vegetal y la actividad de la microvida.

El pH es responsable por las diversas fracciones de humus, que tienen efecto completamente diferente sobre el suelo (18). Se forman:

en pH < 5,6 especialmente ácidos fúlvicos,
pH 5,6 a 6,8 en especial ácidos húmicos,
pH > 7,3 ácidos fúlvicos derivados de la degradación de ácidos húmicos. (**Scheffer**, 1956).

Esto se explica por el hecho de que en los suelos ácidos y pobres no hay condiciones para una vida microorgánica conveniente, faltando la continuación de la oxidación que, de aquí en adelante, depende de la presencia de calcio y fósforo, como muestra el cuadro 4-1. Pero en suelo alcalino, donde las condiciones de microvida se tornan nuevamente precarias, se produce la oxidación puramente química de los ácidos húmicos, formando nuevamente ácidos fúlvicos que, finalmente, son mineralizados por bacterias (56, 96).

Cuadro 4.1 *Proceso de humificación hasta la descomposición completa* (**Tyurin**, *1946)*



Esto significa que en suelos pobres el humus será pobre, y en suelos ricos será bueno, pero en suelos salinos será pobre nuevamente.

Sin calcio y fósforo, no puede formarse un humus de buena calidad, pero, con exceso de calcio, como puede ocurrir después de un fuerte encalado, donde el pH inicialmente sube hasta 8,3, los ácidos húmicos del suelo son degradados a ácidos fúlvicos, que son tenidos como uno de los más poderosos agentes en la lixiviación del suelo. Un encalado puede, por lo tanto, salvar la productividad o destruirla, según la cantidad de cal aplicada (ver capítulo 8).

Acidos fúlvicos

Los ácidos fúlvicos no se forman solamente en suelos ácidos, sino en todos los suelos donde las condiciones para la vida microorgánica son precarias. Así, también en altitudes superiores a los 1.000 m sobre el nivel del mar, donde el clima es frío, se forman casi exclusivamente ácidos fúlvicos, como también en todos los suelos encharcados o anaerobios (16, 56, 61).

Los ácidos fúlvicos, con su estructura simple y su pequeño tamaño (2Å) entran fácilmente en los intersticios de la red cristalina de las arcillas, movilizando hierro y aluminio, que se vuelven solubles (58). Movilizan igualmente el calcio y el magnesio con que se ligan. Pero, como los fulvatos, es decir, las sales de ácidos fúlvicos son muy móviles y completamente hidrosolubles, percolan con facilidad en el suelo. Por ello lo lixivian y empobrecen

donde aparecen (45, 69). Por otro lado se acumula humus ácido o "moor" en todos los suelos que carecen de una microvida adecuada y donde, por la misma razón, falta la continuación de la formación de humus. Los ácidos fúlvicos se reconocen fácilmente porque tiñen el agua de oscuro cuando la tierra es agitada con agua. El Río Negro, en la Amazonia, tiene sus aguas teñidas por ácidos fúlvicos (hasta 263 mmhos).

En clima tropical y subtropical, esta acumulación de ácidos fúlvicos debida a la falta de descomposición, tiene lugar sólo en suelos muy ácidos o en las sierras como en "Campos de Jordão" o en la "Serra Geral" en Rio Grande do Sul.

Cuando hay tenores mayores que 6 % de materia orgánica en un suelo, se debe desconfiar de que sea humus ácido, que no representa un factor de mejoramiento, sino de empobrecimiento del suelo. Esta es la razón por la que muchos piensan que el humus, en clima cálido, no sería necesario, y hasta puede ser perjudicial.

Acidos húmicos

El ácido húmico es el producto de un proceso oxidativo continuado en presencia de calcio, potasio, fósforo y micronutrientes. El material que resulta está enriquecido por estos elementos más el nitrógeno fijado del aire, ocurriendo en el humus *mull* en cantidad mucho mayor que en el material vegetal original (ver capítulo 6).

No son solubles en agua y tienen una estructura grande y compleja (8Å). No entran en las estructuras de las arcillas pero se ligan a ellas por sus electrovalencias negativas, cuando las arcillas están cubiertas por capas de cationes positivos de dos o tres electrovalencias, como por ejemplo, el aluminio, hierro, calcio y magnesio. Ellos sirven, pues, de "puente de unión" entre las partículas de la arcilla (49, 89) (fig. 4-5).

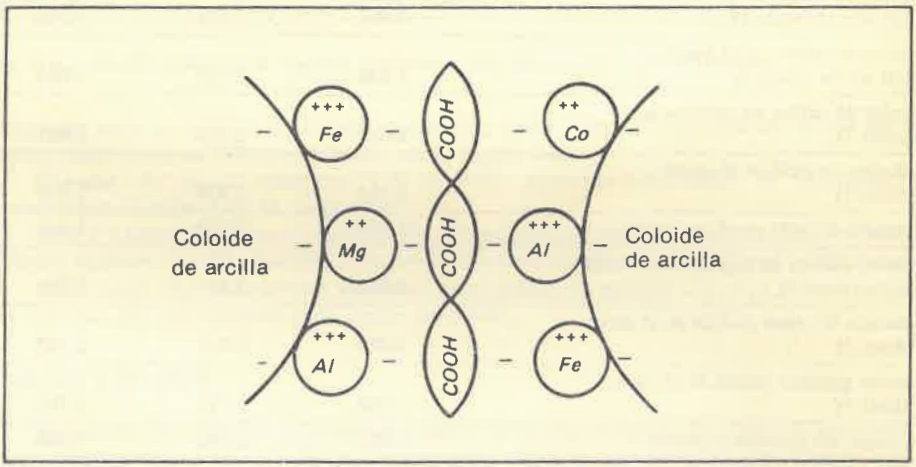


Fig. 4.5 *Esquema de agregación de arcilla por materia orgánica.*

Sin embargo, esta ligazón sólo se produce cuando la arcilla está saturada con cationes positivos, como se mencionó más arriba. Si no está saturada, sus electrovalencias negativas repelen a las negativas de los ácidos húmicos y el efecto, en vez de una agregación, es una dispersión del suelo (79). El ácido húmico en sí mismo, no tiene un efecto agregante. Este efecto depende de la película que recubre la arcilla. Por lo tanto, los oxisoles tropicales, es decir, los suelos de arcillas rojizas, ricos en hierro y aluminio, tienen una agregación natu-

ral extremadamente buena, así la estructura del suelo tropical es fácilmente establecida (88). La famosa "Terra Roxa" legítima tiene una estructura tan estable, que resiste a decenas de años de cultivo.

Por otro lado, en zonas tropicales, el encalado sólo beneficia la agregación cuando el suelo contiene óxidos de hierro en mayor cantidad (107). Y cada labrador sabe que las tierras rojas "son más secas" por su mayor porosidad y permeabilidad (35).

Pero los ácidos húmicos no solamente ligan las arcillas, también son parcialmente absorbidos por éstas, de modo que forman un *complejo húmico-arcilloso* de buena estabilidad, que difícilmente será destruida (39). Por eso, cada suelo, según su tenor en arcilla, posee un nivel mínimo de materia orgánica, que prácticamente no pierde (79). Este mínimo de materia orgánica es aproximadamente 0,3 % por cada 10 % de arcilla (79). Así, un suelo con 70 % de arcilla tiene un mínimo entre 2,1 y 2,5 % de materia orgánica, incluyéndose las sustancias orgánicas excretadas por las raíces, microorganismos y mesofauna. Esto dio origen a la creencia de que ninguna técnica podría provocar la descomposición del humus y por eso nunca podría ser perjudicial, ya que el porcentaje de humus no bajaría. Se olvidó, sin embargo, que el mínimo de humus es insuficiente para mantener la estructura grumosa y un nivel satisfactorio de producción que garantice el efecto adecuado de una fertilización (64). **Miyasaka** (1967) muestra esto en el cultivo de poroto (*feijão;* judía).

Cuadro 4.2 *Diversas formas de fertilización orgánica y su efecto sobre la fertilización comercial (***Miyasaka,** *1967)*

Tratamiento	*Cosecha kg/ha con*		
	P	NP	PK
hojas de cafeto en el surco 125 m^3/ha (dosis 1)	2.063	2.375	1.750
hojas de cafeto en el surco 250 m^3/hs (dosis 2)	1.938	2.750	2.062
hojas de cafeto en cobertura (dosis 1)	1.667	2.104	2.021
cáscara de café en el surco (dosis 1)	2.354	2.354	1.875
bagazo de caña en el surco (dosis 1)	1.604	2.250	1.646
ramas nuevas de soja perenne en el surco (dosis 1)	2.042	2.417	1.896
cáscara de maní molida en el surco (dosis 1)	2.479	2.979	2.562
capim gordura nueva en el surco (dosis 1)	1.750	2.792	2.195
testigo, sin materia orgánica	1.167	2.542	1.806
promedio de los rendimientos con materia orgánica	1.987	2.502	2.000

Hay quien podría reflexionar sobre el efecto de los nutrientes liberados por la materia orgánica; sin embargo un ensayo de **Gomes** (1963) muestra que no se trata de eso, pero sí de un factor diferente provocado por la sustancia orgánica, como muestra el cuadro 9-25.

Se comprueba que aparte del aumento del rendimiento hubo igualmente un aumento sustancial de la calidad que, con el aumento de la dosis de fertilizante químico, decreció.

El nivel mínimo de materia orgánica existente en los suelos cultivados, sin considerar la reposición de dicha materia, existe en todas las tierras agrícolas, y no puede ser evaluado sólo por el análisis del carbono (C), que nunca puede informar si este nivel es el mínimo o el

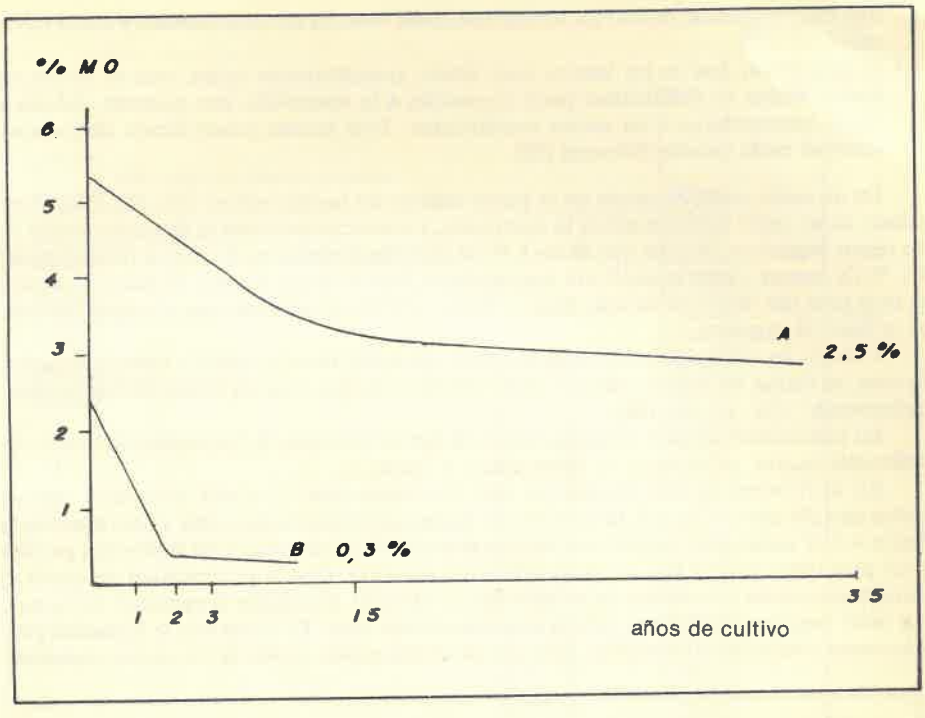


Fig. 4.6 *Niveles mínimos de materia orgánica en dos suelos diferentes* (**Primavesi**, *1973*).

adecuado para el cultivo. Se necesitan también datos sobre la cantidad de arcilla en el suelo, como muestra **Primavesi** (1963), en la figura 4-6.

El suelo "A" era un oxisol con 72 % de arcilla, mientras que el suelo "B" era un suelo arenoso con apenas el 11 % de arcilla.

En 1 a 3 años de cultivo el suelo pierde, prácticamente, toda su materia orgánica sobre el límite mínimo. De allí en adelante mantiene un nivel estable, con muy pocas oscilaciones.

Cada suelo, según su textura, posee un nivel propio de materia orgánica, aparte del nivel mínimo, del que necesita para poder producir.

CALCIO Y HUMUS

Generalmente se lee en la literatura sobre el tema que el calcio, en forma de encalado, sería el agente clásico para la descomposición y pérdida de materia orgánica. Cuanto más calcio un suelo tuviese, tanto menor sería su nivel en humus (86, 89). Esta interpretación es correcta cuando se trata de encalado y el aumento de un pH ácido hacia uno menos ácido o neutro. Pero es incorrecta cuando se trata de cantidades existentes naturalmente en el suelo (56, 79).

Sin calcio no se forma humus (51, 55), sino sólo una especie de turba, o sea, humus ácido. Los alemanes lo clasifican en (21, 72):

1. *humus-mull*, que es el formado en ambiente rico en calcio y silicio (ácido húmico);
2. *humus-moder*, que se forma especialmente en suelos ferralíticos, tropicales, donde el ambiente es menos rico en calcio y sílice, pero aun así, altamente favorable a la activi-

dad microorgánica, dando un humus razonable (mezcla de ácido húmico y ácido fúlvico);

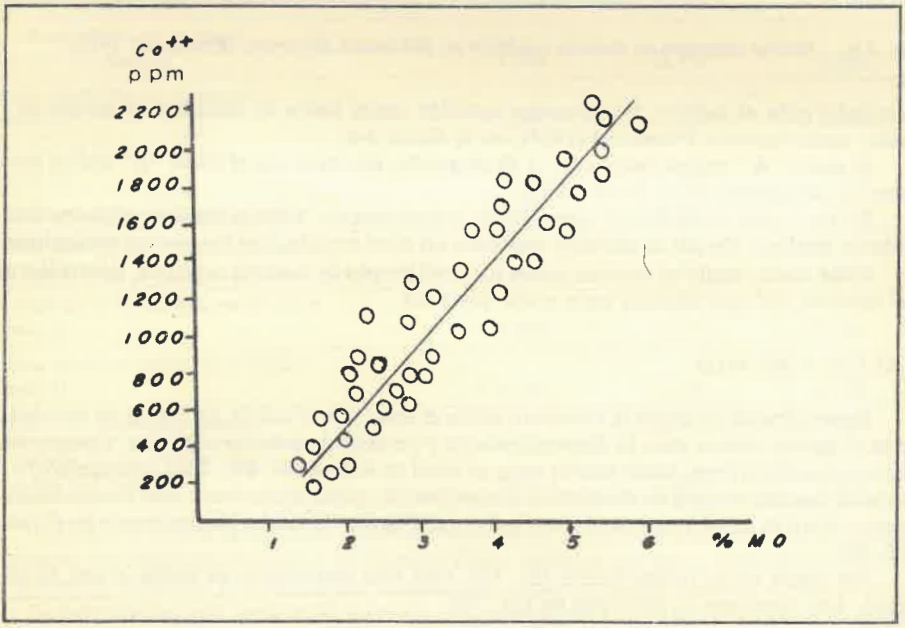
3. *humus-moor*, que es un humus muy ácido, prácticamente turba, que se forma en suelos ácidos en condiciones poco favorables a la microvida, por ejemplo, debido a bajas temperaturas o en suelos encharcados. Este humus posee acción degradante sobre el suelo (ácidos fúlvicos) (90).

De un suelo pobre en calcio no se puede esperar un humus valioso (55, 56). Con el encalado en un suelo ácido se activa la microvida, y consecuentemente la descomposición de los restos orgánicos. Se sabe que de un 1 % de materia orgánica en el suelo se puede formar 0,1 % de humus, como se explicará más adelante. Por lo tanto, el tenor de materia orgánica baja para dar origen al humus. Eso, en parte, contribuye a pensar que el calcio disminuye la materia orgánica.

Cuando las condiciones son semi-aerobias, en suelos ricos en calcio y materia orgánica lignosa, se forma un humus valioso, como por ejemplo en el sur de Rusia, en los famosos "chernozen" (51, 55, 96, 106).

En condiciones de bien aireados, como en tierras labradas, la formación de humus difícilmente ocurre, en especial en clima cálido y húmedo.

En la frontera de Rio Grande do Sul, levantamientos de suelos mostraron que en suelos con pH entre 4,2 y 6,6, la cantidad de humus subió con la de calcio, como muestra la figura 4-7. Y eso es más, cuanto más seco es el suelo, de modo que en los suelos con perfiles poco profundos (5 a 15 cm) las cantidades eran mayores. Con la profundidad del perfil y, consecuentemente el aumento de la humedad en el suelo, disminuye la cantidad de humus, por tener mejores condiciones para la descomposición total. El calcio más la humedad proporcionan condiciones favorables para una descomposición mejor de los restos orgánicos.



(Obs.: se trata de lumus y no solo de materia orgánica.)

Fig. 4.7 *Correlación entre calcio y materia orgánica humificada en suelos nativos dê Rio Grande do Sul* (**Primavesi**, *1973*).

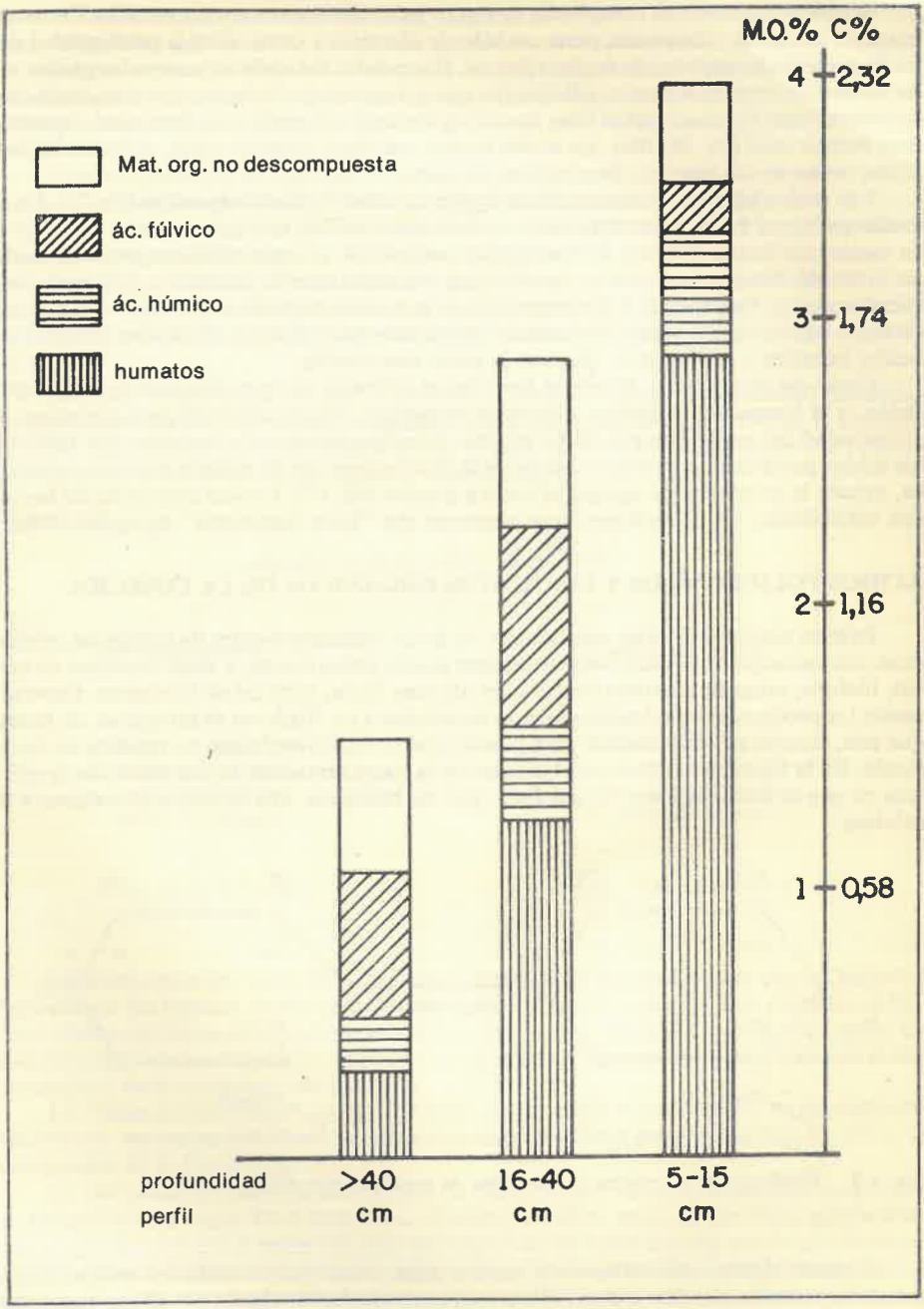


Fig. 4.8 *Fracciones de materia orgánica y sus formas en los suelos de la frontera de Rio Grande do Sul* (**Primavesi**, *1973*).

Según la figura 4-8 se comprueba que gran parte del humus se encuentra en forma de humatos de calcio y magnesio, pero también de aluminio y otros. Con la profundidad del perfil aumenta la cantidad de ácidos fúlvicos. Parte del C del suelo es material orgánico todavía no descompuesto, como radicelas. Se puede resumir que la formación y acumulación de humus tiene lugar en suelos ricos en calcio, en condiciones de poca humedad, formándose *humus-mull* (55, 99, 106). En suelos ácidos con clima húmedo y frío, se forma humus ácido, como en los bosques de coníferas europeos.

Los ácidos húmicos generalmente se ligan a cationes formando humatos (21, 72). En el medio ambiente de los países tropicales su formación es más rara que en clima más seco o en suelos más llanos. Por eso, la mata (selva) amazónica, aunque milenaria, prácticamente no acumuló humus, por ofrecer condiciones extremadamente favorables a la actividad microorgánica. En la figura 4-8 se muestra que la materia orgánica en el suelo se compone de material sin descomponer, de material en transformación como los ácidos fúlvicos, de ácidos húmicos y de humatos, que son la parte más estable.

Como en clima cálido, en suelos agrícolas el ambiente es favorable para la descomposición, y la formación de humus y humatos es mínima. No es suficiente para garantizar la grumosidad del suelo. Por eso, hubo muchas investigaciones hasta descubrir que también los ácidos poliurónicos, producto inicial de la descomposición de materia orgánica celulósica, poseen la propiedad de agregar el suelo a grumos (66, 67). Existen determinadas bacterias celulolíticas, los *Cytophagas*, que producen esa "jalea bacteriana" agregante (99).

ACIDOS POLIURONICOS Y LOS RESTOS ORGANICOS DE LA COSECHA

Existen muchas bacterias celulolíticas, es decir, descomponentes de sustancias celulósicas; sin embargo, sólo unas pocas producen ácidos poliurónicos, y éstas necesitan de calcio, fósforo, potasio, micronutrientes y, en algunos casos, también de nitrógeno. Generalmente los productos de la descomposición benefician a los fijadores de nitrógeno, de modo que éste, aunque es indispensable para la actividad de los *Cytophagas*, no necesita ser fertilizado. En la figura 4-9 se muestra el proceso de la transformación de una molécula de celulosa en una de ácido urónico. Se adiciona, por vía biológica, una molécula de oxígeno a la celulosa.

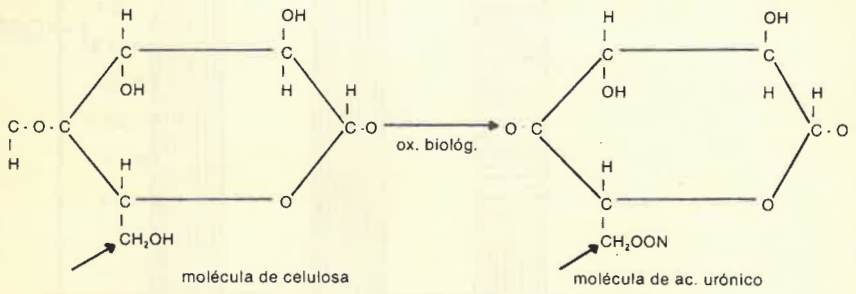


Fig. 4.9 *Oxidación de la celulosa y formación de ácido urónico* (**Flaig**, *1965*).

El material celulósico agregado al suelo es paja, hojas secas o cualquier residuo de cosechas de cereales, algodón u otros. No se necesita inoculación alguna con *Cytophagas*, tan sólo, las condiciones favorables para su vida. Por ejemplo, la descomposición de *linter* de algodón difícilmente se beneficia con la inoculación; sin embargo, si fueron creadas las condiciones para la vida de los *Cytophagas*, y si *fueron agregadas las sustancias que las bacterias necesitan para su vida,* es decir, algún nitrógeno, calcio, fosfato, potasio y algu-

nos micronutrientes, la descomposición del *linter* se produce en 4 a 6 semanas, sin que haya sido inoculado. *Las bacterias apropiadas aparecen espontáneamente.*

Las bacterias celulolíticas forman parte de una comunidad a la cual también pertenecen los fijadores de nitrógeno y las amebas (ver capítulo 6), de modo que un ambiente favorable para los fijadores de nitrógeno, también lo será para la formación de sustancias agregantes.

Con esto, también se responde a la pregunta: ¿Qué conviene: enterrar los restos orgánicos de un cultivo, quemarlos, o incorporarlos superficialmente? Si la paja y los rastrojos ("soca")* son quemados, se priva al suelo de la materia orgánica, y con ello, de la posibilidad de renovar su bioestructura favorable a la producción (3).

Si la paja es enterrada para dejar el campo limpio y preparado para nuevo cultivo, habrá una descomposición anaerobia que tampoco beneficia de ninguna manera a la bioestructura, porque las bacterias anaerobias no forman la "jalea" agregante que necesitamos.

Si la paja es incorporada superficialmente, hasta 8 a 10 cm de profundidad, tendremos la posibilidad de que se produzca la agregación del suelo, tornándolo grumoso y, al mismo tiempo, fijando nitrógeno por descomponer la paja en un medio parcialmente aerobio, y parcialmente anaerobio (13, 24, 82) (ver capítulo 6).

Cuadro 4.3

degradación de la celulosa (**Reese**, *1968*)

en medio aerobio	*en medio anaerobio*
ácido urónico y poliurónico, derivados fosforilados (jalea Cytophaga)	alcohol etílico y butílico, ácido acético, fórmico, láctico y soccinico, acetona y metano.
CO_2, H_2O, minerales y calorías	CH_4, H_2O, minerales y calorías

La producción de *"jalea de cytophaga"* depende de las condiciones que las bacterias encuentran. En algunos suelos no necesitan nada más que la paja, en otros precisan un fosfato cálcico, en otros, todavía potasio y micronutrientes y, en suelos salinos, nitrógeno. En una descomposición dirigida de material rico en celulosa, siempre se puede conseguir el mejoramiento de la estructura del suelo.

La "jalea de cytophaga" es solamente un azúcar ácido y, por lo tanto, se descompone fácilmente en presencia de otros microorganismos. Tiene poca durabilidad, como se comprueba en la figura 4-10.

En campo arado tenemos un máximo de bioestructura entre 3 y 8 semanas después de la aplicación de la paja. En 3 meses cesa el efecto, en clima tropical. En clima subtropical, éste puede durar hasta 4 meses (55, 96). Eso significa, de todos modos, que es un efecto pasajero, y que el retorno de la paja al suelo debe ser practicado asiduamente. En un cultivo bien hecho, con espaciamiento correcto y "cerramiento" del suelo, sombreándolo inmediatamente, y un enraizamiento denso, la bioestructura no desaparece con la desaparición de la paja, sino que continúa a través de la acción física y química de las excreciones radicu-

* De la caña de azúcar. *(N.T.)*

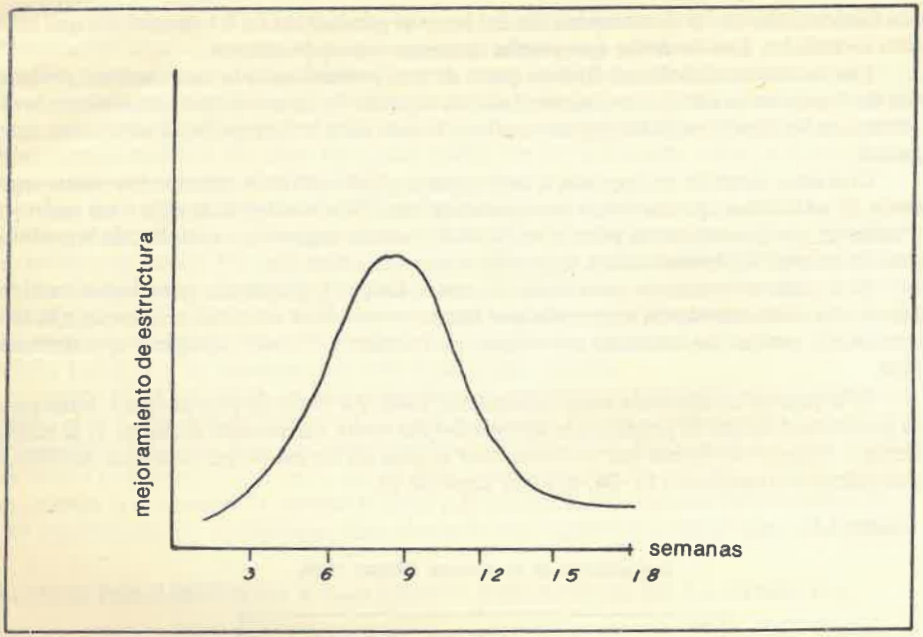


Fig. 4.10 *Descomposición de paja y estabilidad de la bioestructura de la capa arable* (**Pauli,** *1961).*

lares, especialmente si éstas viven en simbiosis con micorrizas endotrofas. Así, el efecto puede ser mantenido hasta la cosecha y el nuevo retorno de la paja al suelo.

Podemos calcular que el retorno de materia orgánica al suelo, por año, es el siguiente:

Cuadro 4.4 *(Compilado por* **Primavesi***)*

	t/ha
selva virgen	20 a 40
campo de pastaje quemado	3
forraje y heno	4 a 5
trigo, rastrojos (paja extraída)	2
trigo, rastrojos y paja	8
maíz (rastrojo y paja)	10 a 12
poroto y arveja (raíces)	0,5
paja y mandioca	0,4 a 0,5
caña de azúcar quemada	2 a 3
caña de azúcar (papa dejada en el surco)	10 a 15

Vemos que sólo lo que retorna por las raíces y rastrojos (soca) es muy poco, especialmente teniéndose en cuenta la tasa de descomposición que, en el clima de Brasil, es de 1 % en pastaje nativo, 3 % en selva o "mata", y 3 a 4 % en campo cultivado (31, 47, 105).

Diez toneladas de paja significan el 1 % de restos orgánicos en los 10 cm de suelo superficial. Esta materia produce sólo 0,09 a 0,20 % de humus, ya que sólo la parte lignosa se transforma en humus. Por lo tanto, 1/10 a 1/5 parte de la materia orgánica adicionada podría transformarse en humus (40, 96).

Confrontando la posibilidad de formar humus y la tasa de descomposición, se comprueba la imposibilidad de acumular humus en el suelo agrícola tropical. Y, aun en suelo selvático, la acumulación varía desde 3,5 % en la hileia amazónica, hasta el 6 % en la selva virgen (selva) de la sierra de Rio Grande do Sul.

Las espesas capas de humus y materia orgánica que se acumulan en las selvas templadas, son inexistentes en suelos de selva tropical.

La descomposición de materia orgánica depende no sólo del clima y microorganismos, sino también del uso del suelo. En pasturas perennes, mal manejadas, con quema anual y la mayor parte de las raíces entre 3 y 4 cm de profundidad, la acumulación de materia orgánica no sólo es casi nula, sino también el humus formado es ácido, compuesto de ácidos fúlvicos (95), con excepción de los suelos superficiales de basalto básico, donde se forma principalmente ácido húmico. Las pasturas bien manejadas pierden menos y, por lo tanto, son más propicias a acumular humus. Además, las raíces de gramíneas y leguminosas excretan acidos poliurónicos (27), mientras que la tierra con pastos es el mejor recuperador del suelo (50). Por el contrario, las pasturas mal manejadas destruyen el suelo. Sólo en una rotación bien hecha, como mínimo, con una siega por año, se consigue mejorar el suelo. El pastoreo rotativo (98) sin siega, normalmente no consigue mejorar el suelo, sino sólo mejorar el aprovechamiento del pasto ("capim").

Es obvio que el abandono del suelo se hace para recuperar el humus y la bioestructura (32). Por eso, donde no existen técnicas mejores, el abandono del suelo es benéfico y hasta es la única manera de hacerlo producir nuevamente (76). Sin embargo, la recuperación de la bioestructura puede ser conseguida sin humus, como fue explicado más arriba. Y la recuperación de la materia orgánica, cuya pérdida siempre redunda en pérdida de productividad (3), se puede conseguir en una rotación de cultivos y pasturas, racionalmente planeados (52), como será explicado en el capítulo 9. Una mezcla de gramíneas y leguminosas implantada es más "recuperadora" que el reposo de la tierra (92).

BENEFICIOS DE LA MATERIA ORGANICA EN DESCOMPOSICION Y DEL HUMUS

Si el papel de la materia orgánica fuese únicamente adicionar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno, tendría poca importancia, ya que la fertilización mineral actúa con mucha mayor precisión y eficiencia. Pero, no obstante, hay ejemplos como el de la planta de porotos, que reacciona mejor a un abono verde, que es principalmente nitrógeno, que a una fertilización mineral (63, 64). Y como la materia orgánica en suelo pobre sólo puede ser pobre, el ciclo de la miseria sería completo, ya que no puede adicionar al suelo otros minerales aparte de los que ya existían.

Sin embargo, es evidente que nada consigue sustituir el efecto de la materia orgánica. La fertilización mineral, por más completa que sea, nunca consigue mantener la productividad del suelo, ya sea en clima templado o tropical (3, 69, 77, 86, 93), sin que exista un retorno sistemático y dirigido de la materia orgánica.

La materia orgánica provee de:

1. sustancias agregantes del suelo, haciéndolo grumoso, con bioestructura estable a la acción de las lluvias;
2. ácidos orgánicos y alcoholes; durante su descomposición sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre; fijadores de nitrógeno, posibilitando, así, su fijación (12) (ver capítulo 6, los párrafos sobre fijadores de nitrógeno de vida libre);
3. posibilidad de vida a los microorganismos, especialmente los fijadores de nitrógeno, que producen sustancias de crecimiento, como *triptófano* y *ácido-indol-acético*, que tienen un efecto muy positivo sobre el desarrollo vegetal;
4. alimento a los organismos activos en la descomposición, produciendo antibióticos que protegen a las plantas de pestes, contribuyendo así a la salud vegetal;

5. sustancias intermediarias producidas en su descomposición, que pueden ser absorbidas por las plantas, aumentando el crecimiento (22, 51, 55, 85).

Pero cuando la materia orgánica es, además, humificada, trae más beneficios, que son:

6. aumenta la capacidad de cambio de cationes del suelo (CTC) (ver capítulo 3);
7. aumenta el poder "Buffer", es decir, la resistencia contra las variaciones bruscas del pH, lo que es especialmente importante para tierras fertilizadas químicamente, como muestra la figura 4-11;
8. sustancias como fenoles, ya que es un heterocondensado de sustancias fenólicas (29), que contribuyen, no sólo para la respiración y la mayor absorción de fósforo, sino también a la sanidad vegetal (5, 72, 73).

Se demuestra que también en la descomposición de materia orgánica se forman sustancias de crecimiento y el mejoramiento físico del suelo es común a los humus y a la materia orgánica en descomposición. De los diversos tipos de sustancias orgánicas, sólo el humus consigue influir en las propiedades químicas del suelo, aunque la paja, durante su descomposición, tenga mayor influencia sobre la física del suelo.

Cuadro 4.5 *Influencia de la arcilla y de la materia orgánica sobre la CTC*

	pH	*M.O. %*	*Arcilla %*	*CTC me% (pH 7,0)*
suelo 1	4,9	0,3	5	1,9
suelo 2	6,6	3,2	5	10,4
suelo 3	4,5	3,1	25	17,7

Pero no sólo el CTC sube con el tenor en humus, también el poder "Buffer", que evita un choque violento del encalado o fertilización sobre la microvida, y evita igualmente desequilibrios minerales, acarreados fácilmente por una fertilización química, y que perjudican seriamente a la producción vegetal (figura 4-11).

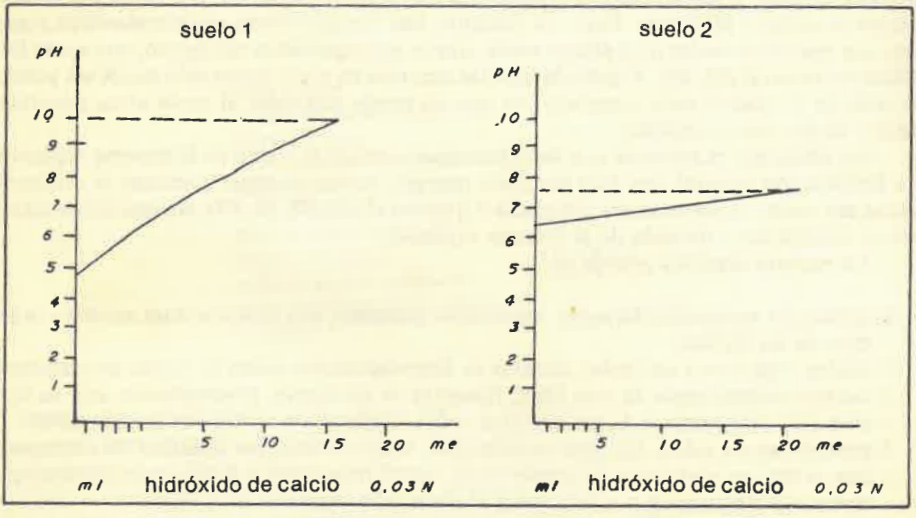


Fig. 4.11 *Poder tampón de los suelos 1 y 2, arriba citados* (**Primavesi**, *67, 1963).*

El "suelo 1" es un suelo arenoso con poder "Buffer" muy reducido, por lo que el efecto del hidróxido de calcio es muy fuerte. El "suelo 2" es un suelo arenoso con tenor adecuado de materia orgánica (ver cuadro 4-3), y su poder "Buffer" es grande, protegiendo a las plantas que allí crecen de bruscos choques de la modificación del pH, por encalado o fertilización. Las cosechas están más garantidas y es más remoto el peligro de un desequilibrio mineral debido a la fertilización. El aumento del CTC significa que la planta estará mejor nutrida, porque el suelo consigue mantener más nutrientes en formas cambiables y disponibles para la planta. No se consiguen buenos rendimientos en suelos con un CTC muy bajo.

En los suelos brasileños, la materia orgánica tiene un CTC entre 122 me % y 360 me %, con un promedio de 200 me % (19). Esto daría para cada porciento de materia orgánica en el suelo, en promedio, un aumento del 2 me % de la capacidad de cambio, lo que significaría que más de 40 mg de calcio o 78 mg de potasio pueden ser mantenidos a disposición de las plantas, por cada 100 g de suelo, equivaliendo a 40 kg de calcio o 78 kg de potasio por hectárea, en los diez centímetros superficiales, cuando el pH del suelo es mayor que 5,6.

SANIDAD VEGETAL Y MATERIA ORGANICA

Todos sabemos que los cultivos en suelos nuevos, recientemente desmontados, difícilmente son atacados por pestes. A medida que la bioestructura del suelo va decayendo, aumenta la susceptibilidad de las plantas a las plagas y pestes, y aumentan los parásitos microorgánicos y animales del suelo (ver capítulos 5 y 6). **Primavesi** (1967 y 1968) mostró que en una zona donde el trigo desapareció debido a la "roya" (óxido de hierro), éste no atacó más a los cultivos cuando la estructura del suelo permitía un desarrollo rápido y sano de las plantas. Después de 3 años de un cultivo intenso, como por ejemplo el que realizan los horticultores, no existen más defensas que protejan a los cultivos en los suelos biológicamente decaídos.

La sanidad vegetal, de uno u otro modo, está ligada a la "salud" del suelo. En un suelo decadente es difícil producir cultivos sanos. Y todo plantador de soja en Paraná (Brasil), sabe que en suelo recién desmontado el cultivo es sano, y en tierra vieja, la soja constituye un verdadero muestrario de plagas y enfermedades.

Estos hechos, muy bien conocidos por los agricultores, permiten sacar en conclusión que todas las medidas que contribuyan a la recuperación de las condiciones favorables del suelo contribuyen igualmente a la sanidad vegetal.

Por lo mismo, la adición de materia orgánica en el suelo, cuando mejora su bioestructura (ver capítulo 9), es una medida para mejorar la salud vegetal, no sólo porque mejora la estructura grumosa sino por contribuir también a la diversificación de la microvida y fauna terrestres (ver capítulo 5).

Sin embargo, la adición de material orgánico de suelos ácidos a suelos ácidos, no es medida de saneamiento. Beneficia a microorganismos patógenos, gracias a la formación de ácidos fúlvicos, contribuyendo al aumento de enfermedades vegetales (65).

Los ácidos húmicos, por ejemplo, de estiércol fermentado de corral, aumentan de tal manera la microflora benéfica a las raíces, que las arvejas allí plantadas permanecen exentas de nematodes (11).

También **Primavesi** muestra que la soja, cuando recibe una fertilización adecuada y encuentra un tenor conveniente de materia orgánica en el suelo y es atacada por nematodes, tolera una carga muy grande (3.000 a 5.000 por 5 g de raíces) sin ser perjudicada (78), ya que el perjuicio mayor de los nematodes son los microorganismos patógenos que penetran en la raíz. En presencia de ácidos húmicos, los patógenos en el suelo son pocos.

Así, los restos orgánicos pueden contribuir para la mayor o menor incidencia de pestes, según los ácidos que se forman en su descomposición y transformación.

Una agricultura donde sólo se emplean técnicas cuyo efecto sobre el suelo, su vida y

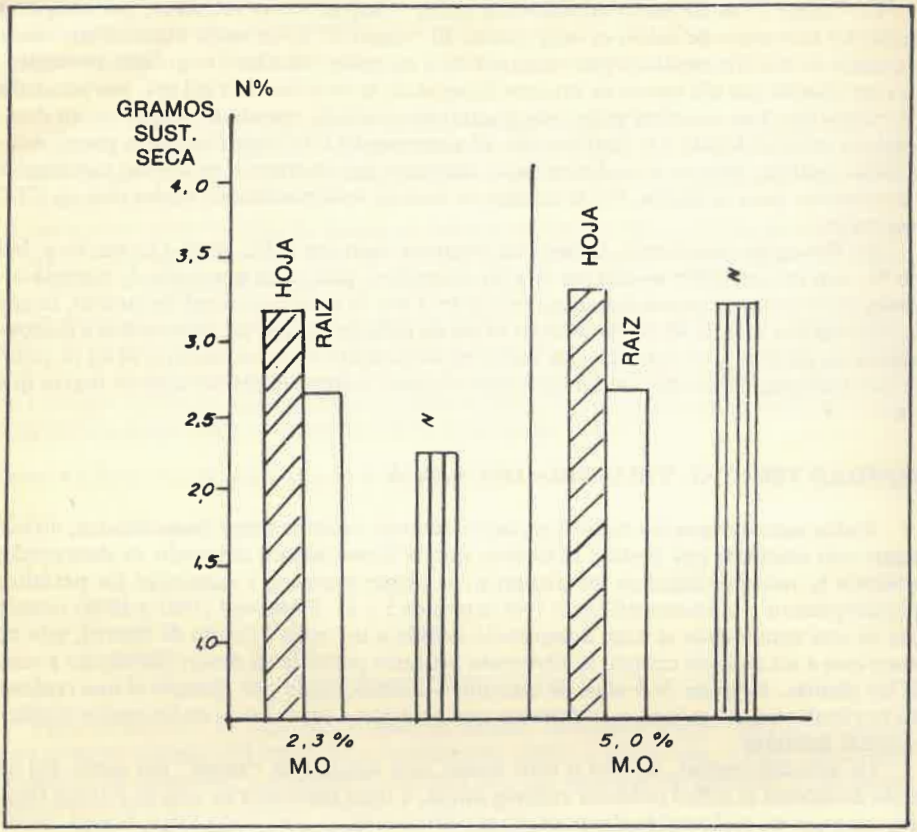


Fig. 4.12 *Producción de hojas y raíces de maíz y absorción de nitrógeno con niveles diferentes de materia orgánica en el suelo (***Pignataro,** *1973).*

sus procesos biológicos, es desconocido, puede, por lo mismo, dar ganancia o perjuicios catastróficos, según las condiciones existentes en el suelo. La agricultura, como actividad biológica, no depende sólo de las técnicas, sino en especial de su adaptación al ambiente, es decir, al suelo y clima en que son usadas.

Y el efecto de "paquete tecnológico" depende de su actuación sobre las condiciones ecológicas. Por eso, no se debe preguntar "cuál técnica" debería usarse, sino "por qué" será usada (*Why, not what!*).

Generalmente también se menciona que el humus torna a las plantas más resistentes a la sequía (6, 74, 86), a pesar de que en presencia de humus y fertilizantes, formen raíces más cortas (90) aunque más voluminosas.

Se comprueba en la figura 4-12 que con un 5 % de M.O. en el suelo el maíz creció un poco más, presentando, sin embargo, un nivel del 57 % mayor en nitrógeno. La raíz no creció más aunque la parte vegetal es mayor y ha tenido mayor absorción.

El humus activa los procesos catalíticos en la planta, y con eso la síntesis de compuestos orgánicos (85).

CANTIDAD DE ACIDO HUMICO QUE BENEFICIA A LA PLANTA

Hay una tendencia a pensar que todo lo que es bueno debe ser mejor todavía si es usado en gran cantidad. Sin embargo, ya se sabe en la terapéutica que muchas sustancias benéficas se vuelven tóxicas cuando son usadas en grandes cantidades. Eso vale, no sólo en la medicina humana, sino también para el suelo y para las plantas. Especialmente el hecho de que el humus es un heterocondensado de sustancias fenólicas, hace que active los procesos de respiración, y con ello, el metabolismo y la absorción vegetal, en especial del fósforo, haciendo a la planta más vigorosa (51). Pero, si la respiración se activa demasiado, gasta todo lo que fue fotosintetizado y el crecimiento se estanca. Por ello, cada planta tiene una cantidad óptima de ácidos húmicos, que la benefician.

Según **Hernando** (1969), las cantidades de ácido húmico que soporta una planta dependen de la especie. Así, en clima templado, especialmente bajo condiciones subhúmedas, como existen en varias regiones de España, no es raro que una fertilización con estiércol seco o compuesto perjudique la cosecha, si es que ya hay suficiente humus en el suelo. Y, aun tratándose de humus-mull, la mayoría de las plantas soporta mal las cantidades excesivas.

Cuadro 4.6 *Producción máxima de plantas con diferentes niveles de ácido húmico* (**Hernando**, *1961*)

	Humato sódico			
Planta	4 mg/l	6 mg/l	12 mg/l	24 mg/l
nabos	—	—	máxima	—
lechuga	máxima	—	—	—
trigo	máxima	—	—	—
maíz	—	—	—	máxima

Aquí se evidencia que la producción máxima de la masa verde exige cantidades diferentes de humato de sodio, según la planta. Sin embargo, cuando la concentración de nutrientes es dos o tres veces mayor que la normalmente exigida por la planta, lo que ocurre después de una fertilización, la cantidad de ácido húmico necesario para la producción máxima aumenta, pudiendo duplicarse y hasta triplicarse. En este caso, el humus actúa como desintoxicante, y su nivel óptimo depende de la cantidad de minerales en solución (4). Los suelos humosos soportan fertilizaciones minerales mucho más pesadas. Y cuando hay un exceso tóxico de un mineral, el humus elimina su acción maléfica. Por lo tanto, en suelos ricos, la cantidad de humus debe ser mayor.

La propiedad del maíz, de poder soportar concentraciones elevadas de ácido húmico, hace que la planta sea pionera en los suelos recién desmontados.

MATERIA ORGANICA SIN DESCOMPONER, HUMUS Y CULTIVO

Se sabe que, con el cultivo, y por la aireación consecuente del suelo, disminuye la cantidad de humus existente en el mismo. Los agricultores nativos del interior de Brasil definen esto cuando dicen: "¡falta la gordura de la tierra!" (ver capítulo 2). Finalmente, la arada fue introducida para mover la tierra, es decir, su microvida, ya que una cosa inerte no puede ser movilizada. Con esto se activa la descomposición de la materia orgánica. También la fertilización mineral activa los microorganismos, ya que suministra sustancias esenciales para su vida. Los suelos fertilizados durante mucho tiempo con fertilizantes comerciales, presentan menos humus y menos materia orgánica que los suelos sin fertilización mineral, a pesar de que el crecimiento vegetal haya sido aumentado por la fertilización (69). Pero no sólo aumenta el crecimiento de los cultivos, también aumenta el crecimiento de la

microvegetación, es decir, de las bacterias, hongos, amebas y otros, que descomponen la materia orgánica formada. La descomposición de la materia orgánica y el humus no dependen sólo de mejores condiciones para los organismos descomponentes; depende, asimismo, de las plantas cultivadas y de las técnicas agrícolas usadas. En cultivos rotativos, la pérdida, por lo general, es menor, ya que la rotación tiene como finalidad alternar plantas destructoras de humus, como la papa, mandioca, algodón, poroto negro, etc., con plantas recuperadoras, como las forrajeras, gramíneas de bajo porte, leguminosas forrajeras, y todos los cultivos que dejan gran cantidad de restos orgánicos en el campo.

Por eso, el monocultivo de algodón deja el suelo con mucha menos materia orgánica que la lespedeza, o aun que el maíz (9).

Un cultivo escardado bien "limpio" deja menos restos orgánicos que una siembra consorciada. El responsable por este fenómeno es el sistema de enraizamiento, ya que actualmente el retorno de la paja es raro, debido a la dificultad de mecanización, aunque en este momento está siendo superada por el uso de máquinas más modernas.

Se quema la paja del algodón para evitar la difusión de la larva de la "lagarta rosada"*, pero **Bachelier** (1966) prueba que esta larva aparece menos en los campos donde la paja fue superficialmente incorporada, que en los que fue quemada (ver capítulo 5).

Como el retorno de la paja parece ser imperioso para una agricultura lucrativa, se están desarrollando máquinas para "vencer" a la paja alta y posibilitar la preparación del suelo para la próxima siembra. Así, existe el "picador de paja", que se adapta a la cosechadora automotriz y que, en el cultivo de soja, trigo o arroz, pica y distribuye la paja en una capa uniforme sobre el terreno.

Un suelo cubierto por esta capa muerta o "mulch" se presenta más húmedo y "blando", aun después de dos meses de sequía, mientras que en los campos vecinos, donde la paja fue quemada, el suelo estaba seco y rajado.

En el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) de la Argentina, se desarrolló una azada rotativa que trabaja delante de la sembradora, picando la paja de la cosecha anterior, así como las hierbas invasoras que hayan nacido, pero no remueve el suelo. Permite ser acoplada a la implantadora o a la sembradora para la siembra sin labranza.

El único problema que todavía podrá surgir con la paja es que existen semillas que no soportan los productos lixiviados de la misma. Por ejemplo, el trigo es sensible a sustancias lixiviadas de su propia paja. Y, cuando la paja es incorporada superficialmente, se produce con facilidad una fitotoxicidad temporaria (70), por los productos excretados por los hongos que comienzan la descomposición, como por ejemplo, *Penicillium urticae*. Esto ocurre en suelos arenosos, pero raramente en suelos arcillosos, de mayor fertilidad. Estos productos pueden impedir o atrasar la germinación de la semilla (70).

Generalmente se atribuye el efecto desfavorable de la paja exclusivamente a la falta de nitrógeno en el suelo, que ocurre durante su descomposición. Pero esto ocurre cuando la paja es enterrada. La paja en la superficie, como cobertura muerta, o la paja muy superficialmente incorporada (*stuble-mulch*), no provoca la falta de N en el suelo, necesario para el crecimiento vegetal (8). En este caso, el efecto desfavorable de la paja sucede sólo por las fitotoxinas, por lo que deducimos que nunca se debe plantar cuando la paja está recién aplicada. Debe esperarse antes una lluvia abundante para permitir la lixiviación de los productos tóxicos de la paja, que se formaron en el comienzo de la descomposición. En el momento en que los hongos rompen el ciclo lignoso, pueden ser sustituidos por bacterias. La descomposición entra en su segunda fase (99) una vez que pasa la fase de las *sustancias inhibidoras de la germinación*, perjudiciales para el nacimiento de las semillas. En esta etapa son beneficiadas por sustancias de crecimiento excretadas por las bacterias, apresurando la germinación (99, 100).

Para acelerar la aparición de bacterias, se debe aplicar asiduamente un fosfato cálcico, en especial de hiperfosfatos (80) a la paja, cuando se trata de suelos ácidos. En los suelos alcalinos, basta con sulfato de amonio (25, 82).

* Larva del lepidóptero *Platyedra gossypiella*, terrible plaga de la semilla del algodón. (*N.T.*)

La paja superficialmente incorporada posibilita la fijación de nitrógeno atmosférico por bacterias de vida libre, consorciadas con las bacterias celulolíticas descomponentes de la paja. Pero cuando la paja es enterrada en profundidad, retira el nitrógeno del suelo para su descomposición, y entonces sucede la tan conocida depresión de la cosecha.

El "acolchonamiento" del suelo con pasto (*capim*) no sólo beneficia a la microvida y la estructura del terreno, sino también ha probado ser uno de los métodos más poderosos para combatir la erosión. **Marques y colaboradores** (1961) muestran su efecto, que también **Molina** (1955) y muchos otros verificaron, y que presentamos en el cuadro 4-7.

Cuadro 4.7 *Pérdidas anuales de tierra y agua (***Estación Experimental de Ribeiro Preto,** *año agríc. 1958/59)*

Tratamiento	*Pérdidas de* tierra en toneladas	agua en mm
plantío	2,53	47
sin arada	1,51	36
con pasada de rastra de disco	1,31	42
herbicidas	1,24	38
alternancia de métodos de cultivo	0,94	30
plantío en contorno	0,67	21
abono verde anual	0,50	19
"cultivo bajo cubierta" alternado con pasto	0,03	5

En este caso, el efecto no es del humus, pero sí de la protección del suelo contra el impacto de la lluvia (ver capítulo 7).

ABONO VERDE Y ABONO DE CORRAL

Abono verde

El abono verde no enriquece el suelo con materia orgánica (34, 37), pero aumenta la suma de bases y beneficia la cosecha.

El efecto del abono verde consiste, especialmente, en el suministro de nitrógeno orgánico y de sustancias de crecimiento. Fundamentalmente en el cultivo de caña, el efecto de una fertilización verde con *Crotalaria juncea* es impresionante. Pero también es altamente benéfica la fertilización verde para la papa, el poroto y otros.

Cuadro 4.8 *Rendimiento en naranjales, en kilos de frutos, promedio de cuatro años (***Gallo,** *1960)*

Tratamiento	*Promedio de cosecha kg/ha*
limpio con herbicida	2.606
cobertura muerta con "pasto gordura"	5.357
abono verde c/guandú	3.897
abono verde c/mucuna	3.176
dos aradas superficiales	3.051

Obs.: El abono verde es picado con rastra y dejado en la superficie.

El autor de este cuadro opina que el abono verde es más económico, ya que para las grandes plantaciones la obtención de "pasto gordura" en cantidad suficiente, se vuelve di-

fícil. Es lógico que la materia orgánica siempre va acompañada de encalado y fertilización, cuando es necesario.

En el cultivo de la caña de azúcar, la abonadura verde con *Crotalaria* es tan eficiente y simple como plantar la crotalaria antes de la plantación de la caña. En ese caso, los tallos de la crotalaria son luego vendidos a las fábricas de cigarrillos, ya que con ellos se puede hacer un papel muy fino.

Cuadro 4.9 *Efecto del abono verde en la producción de la caña de azúcar* (**Wutke**, *1968)*

Tratamiento	*1er. corte*	*2° corte*
PK y abono verde	87,6	47,4
NPK y abono verde	66,0	36,8
PK, encalado y abono verde	115,7	64,0
NPK, encalado y abono verde	122,9	67,3

Se observa que el nitrógeno tiene un efecto mínino o negativo, lo que muestra el efecto del abono verde, pesando sobre el abastecimiento con nitrógeno. La disminución del rendimiento en la segunda producción de la caña de azúcar, común en Brasil, es el resultado de la compactación del suelo, de modo que la pasada de un cultivador profundo surte un efecto sorprendente.

Se debe resaltar que:

1. el abono verde no es fuente de humus, sino simplemente de nitrógeno. Se descompone dentro de las 3 a 4 semanas, pudiendo consumir las fuentes de carbono existentes en el suelo, empobreciéndolo en materia orgánica (37). Enriquece el suelo, temporariamente, en nitrógeno y permite la producción de sustancias de crecimiento, pudiendo beneficiar al siguiente cultivo, como por ejemplo, la caña de azúcar o el poroto. No mejora la bioestructura del suelo, o lo hace sólo por poco tiempo, pero sí contribuye al empobrecimiento del suelo en humus. Cuando el nitrógeno sintético surte poco efecto en un cultivo como el del poroto, el abono verde puede ser la salvación (37, 40, 57, 63, 64, 94);
2. forma muchos hongos, algunos de los cuales son patógenos que pueden atacar al cultivo (43);
3. no siempre es una práctica rentable, pues se pierde a veces un año de cultivo, y no tiene efecto prolongado. **Hallam** (1953) dice: "el abono verde es útil para muchas cosas, menos para enriquecer el suelo en materia orgánica".

Por lo general se usa una leguminosa para el abono verde porque fija nitrógeno y posee hojas más ricas en nitrógeno. Su incorporación en el comienzo de la floración evita que se torne fibrosa; pero justamente la planta fibrosa es la que contiene material celulósico y lignoso.

En climas cálidos y con una bioestructura precaria, muchas veces tiene un efecto más depresivo sobre el cultivo comercial, que la propia falta de nitrógeno.

Las gramíneas de porte bajo, que "cierran" el suelo, probaron ser mucho más eficiente en la recuperación de ésta. A través de sus excreciones radiculares mejoran las condiciones físicas del terreno.

Abono de corral

En las huertas es muy común el uso de abono del corral. Aun mezclado con cuatro partes de paja por una de excrementos animales pasando por un proceso de fermentación, no enriquece el suelo con carbono, a pesar de su efecto benéfico sobre la bioestructura de la tierra y el crecimiento vegetal (33). Aplicándolo frecuentemente, como ocurre en las huer-

tas, se enriquece el suelo de tal manera con nitrógeno y se empobrece en cobre, que deriva en una aguda deficiencia. También moviliza fósforo hasta 800 γ/g de suelo, en que una producción vegetal se torna difícil probablemente por causa de la aguda falta de micronutrientes.

En fincas con ganado lechero, donde los excrementos animales son contenidos en "represas" junto con el agua del lavado de las lecherías, éstos podrían ser bombeados a los pastos para fertilización.

La costumbre europea de aplicar anualmente abono de corral en la huerta y en los campos, no es factible en clima cálido, especialmente porque el estiércol de estas zonas, en general, está constituido exclusivamente de excrementos animales sin paja, por lo que la activación de la microvida es incontrolable.

En los países fríos, donde el abono se acumula durante los meses en que el ganado vive en establos, durmiendo sobre paja, su uso se torna imperioso, ya que debe ser eliminado de los corrales. En Brasil, donde sólo en las fincas dedicadas a la cría de ganado lechero existe acumulación de paja y excrementos en los corrales, y donde la agricultura es tan extensiva, el uso de abono de corral no parece fácil ni tampoco económico.

Cuadro 4.10 *Respuesta de cultivos graníferos y de raíces al abono de corral, en Kenya (***Grimms y Clark,** *1962)*

Cultivo	Cosecha en toneladas/hectárea				
	años plantados	testigo	NPK	estiércol 6 t/ha/ año	estiércol 38 t/ha/ 3 años
maíz	6	0,930	1,546	1,394	1,504
sorgo	6	1,686	2,074	2,628	2,528
mandioca	6	10,050	16,300	15,300	14,774
batata	4	4,120	8,156	8,656	7,470

Se observa poca diferencia entre el efecto del abono químico y el del orgánico. Sin embargo, *no se trata de sustituir el fertilizante químico, sino de aumentar su efecto,* para la mejor absorción del suelo tratado con abonos (82).

El aumento del CTC, de la agregación y de sustancias de crecimiento, es más importante que los minerales adicionados por el abono.

La materia orgánica, inclusive el estiércol fermentado, tiene efecto regulador sobre el pH. El suelo ácido se acidifica más debido a los restos orgánicos descompuestos en ácidos fúlvicos. Sin embargo, en condiciones favorables, es decir, en presencia de calcio y fósforo, la microvida aumenta el pH durante la descomposición de materia orgánica, tanto por la amonificación del suelo, como por las excreciones alcalinas de bacterias (77).

En suelos alcalinos la materia orgánica promueve su acidificación por:

1. aumentar la infiltración de agua y lixiviación de las sales;
2. producir ácido carbónico, que es uno de los agentes más poderosos de desalcalinización (66, 67).

Por lo tanto, la paja superficialmente incorporada al suelo o el abono de corral fermentado con paja, poseen efecto "correctivo" sobre el suelo, especialmente porque:

a) aumentan el pH de suelos ácidos y bajan el de los alcalinos;
b) eliminan la toxicidad del manganeso (7, 15);
c) eliminan la toxicidad del aluminio intercambiable, transformándolo en humatos de aluminio, que no son tóxicos para los vegetales (16, 44, 58);

Este efecto sobre el pH no es privativo de la paja y el abono, sino también de la "vinaza", bagacillo de caña, torta de filtro, o cualquier otra sustancia orgánica que pueda servir de alimento para la microflora.

Resumen

Es esencial el retorno de la materia orgánica al suelo, y su aplicación periódica es indispensable. Su efecto principal lo ejerce sobre la bioestructura del suelo. Para eso es útil la incorporación superficial de paja o de cualquier material celulósico.

El efecto correctivo sobre el pH se produce por cualquier material orgánico, siempre que sea aplicado en condiciones que favorezcan una microvida, en parte, aerobia. En condiciones que no favorecen a la microvida, este efecto no sucede.

El abono verde no enriquece el suelo con materia orgánica, al contrario, lo gasta, porque es una fertilización nitrogenada.

El material orgánico de los suelos pobres da origen a ácidos que lixivian y empobrecen el terreno. Lo mismo puede ocurrir después de un encalado muy fuerte. El suelo debe ser enriquecido con cantidades módicas de P y Ca, para poder producir un efecto benéfico de la materia orgánica (ver capítulo 8).

El humus difiere según el lugar en que se forma y la vegetación de la cual se forma. En clima tropical se forma en cantidad reducida. Un encalado en el comienzo de la estación seca lo torna más estable; en el comienzo de las aguas, lo hace desaparecer rápidamente.

El abandono del suelo para recuperarlo, como sistema de la agricultura itinerante o nómade, tendía a restablecer la bioestructura grumosa y acumular humus. Las plantas más recuperadoras son gramíneas mezcladas con leguminosas. La acumulación de humus no ocurre en el suelo agrícola tropical anualmente arado, pero pueden conseguirse sustancias de crecimiento y de agregación a través de la descomposición superficial de la paja, en presencia de Ca y P, y a veces, de K y micronutrientes.

La materia orgánica contribuye a la salud vegetal, por diversificar la vida del suelo, producir sustancias fungistáticas como fenoles, y permitir la producción de antibióticos por bacterias.

Sin embargo, el efecto de la materia orgánica depende siempre de un manejo adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Aichinger, E.** - 1951 - *Agewandte Pflanzensoziologie. 1:1-56.*
2. **Bachelier, G.** - 1973 - Action de la faune du sol sur l'humification de materiaux vegetaux. *Rev. Ecol. Biol. Sol. 10(4):453-74.*
3. **Baver, L. D.** - 1968 - The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia, 32: 368-96.*
4. **Bogdanovic, M. R.; K. V. Djuricic** e **N. Mesorinski,** - 1964 - Wirkungen verschiedener Humate auf Hafer in Wasserkulturen. Abstr. *VIII Int. Soil Sci. Congr. pp 114-115.*
5. **Borys, M. W.** - 1968 - Influência da nutrição vegetal na resistência das plantas aos parasitas. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RGS. pp 385-404.*
6. **Chaminade, R.** - 1968 - Rôle specifique de la matière organique sur la nutrition et le rendement des vegetaux. *Scient. Varia, 32:277-304.*
7. **Chenery, E. H.** - 1954 - Acid sulphate soils in Central Africa. *V Int. Soil Sci. Congr. Leopoldsville, 15:195-98.*
8. **Danneberg, O.** - 1971 - Investigationen mit ^{15}N als Beitrag zum Wissen der Humifikationsprozesse. II: Synthese von organischen Substanzen und Stickstofformationen der Rotte von Maisstoppeln. *Bodenkult. 22(3):264-78.*
9. **Davidson, J. M.; F. Gray** e **D. I. Pinson,** - 1967 - Changes in organic matter and bulk density with depth, under two cropping systems. *Agron. J. 59(4):375-78.*
10. **DeKock, P. C.** e **E. L. Strmecki,** - An investigation on the growth promoting effect of a lignite. *Physiol. Plant. 7:503-12.*

11. **Denarie, J.** - 1968 - Effect of small applications of dung near the seeds on plant resistance to nematode infection. *Hebd. Sceance Acad. Agric. France, 54:651-58.*
12. **Dhar, N. R.** - 1967 - Carbon and nitrogen transformation in world soils. *An. Edafol. y Agrobiol. XVI(1-4):88-130.*
13. - - - - - - -, - 1968 - The value of organic matter, phosphate and sunlight in nitrogen fixation and fertility improvement in world soils. *Scient. Varia, 32:230-347.*
14. **Dobby, E. G. H.** - 1950 - The study of shifting cultivation. *Panamerican Union Stud. Monogr. 6, Washington, p 165.*
15. **Döbereiner, J.** e **R. Alvahydo,** - 1966 - Eliminação da toxidez de Mn pela matéria orgânica em solo "gray hidromórfico". *Pesq. agropec. bras. 234-48.*
16. **Duchaufour, Ph,** e **F. Jacquin,** - 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. école Nat. Sup. Agron. Nancy, VIII(1):1-24.*
17. - - - - - - -, - 1965 - *Précis de pédologie, 2 ed. Masson, Paris.*
18. **Durasov, A. M.** e **V. F. Marschenko,** - 1966 - Humus composition in dark chestnut soils and the carbon total/nitrogen ratio. *Pochvov. 10:56-63.*
19. **Duriez, M. M. de,** e **L. Vettori,** - 1973 - Determinação da CTC da matéria orgânica de alguns solos brasileiros. *XIV Congr. Bras. ciênc. Solo, Sta. Maria /RGS.*
20. **Ewell, J. J.** - 1968 - Dynamics of litter acumulation under forest succession in eastern Guatemala lowland. *Thesis, Univ. Florida, Gainesville.*
21. **Flaig, W.** - 1965 - Anwendung der Isotopen zur Untersuchung der Organischen Substanz. *Landbauforsch. 15(1):21-24.*
22. - - - - - - - -, - 1967 - Einwirkung von Ligninabbauprodukten auf das Pflanzenwachstum. *Qualit. Plant. et Mat. Veget. XIV(1-2):121-40.*
23. - - - - - - - -, - 1970 - Contribution à la connaissance et la synthese des acides humiques du sol. *Science du Sol, 2:39-72.*
24. **France, E.** - 1968 - O azotobacter como fonte de nitrogênio. *FIR, PV. XI(13):6-7.*
25. **Fuentes Godo, P.** - 1968 - Estudio de la descomposición de la cellulosa en placas de tierra granulada. *Progr. Biodin. Produt. Solo, pp 17-21.*
26. **Gallo, J. R.** e **O. Rodriguez,** - 1960 - Efeitos de algumas práticas de cultivo de solo na nutrição mineral dos citrus. *Bragantia, 19(23):345-60.*
27. **Gaponenkow, T. K.** e **S. T. Umakova,** - 1966 - Chemische Zusammensetzung ein und mehrjähriger Leguminosen und Gramineen. *Agrokhimiya, 10:64-66.*
28. **Gomes, A. G.; H. Gargantini** e **W. R. Venturini,** - 1963 - Competição entre fertilizante nitrogenado orgânico e mineral na cultura da batatinha. *Bragantia, 22(46):575-81.*
29. **Grabbe, K.** e **K. Haider,** - 1971 - Die Huminstoffbildung und die Stickstoffverteilung bei der Strohrotte in Beziehung zur mikrobiellen Phenolbildung. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 129(3):202-16.*
30. **Greenland, D. J.** - 1958 - Nitrate infiltration in tropical soils. *J. Agric. Sci. 50:82-92.*
31. - - - - - - - - e **P. H. Nye,** - 1960 - The effect of deep mass burrial of organic matter. *Proc. 7 Int. Congr. Soil Sci. (Madison) 2:478-85.*
32. - - - - - - - - e **P. H. Nye,** 1959 - Increase in the carbon and nitrogen content of tropical soils under natural fallow. *J. Soil Sci. 9:284-99.*
33. **Grohmann, F.; J. B. Oliveira, de** e **J. P. Queiroz Neto, de;** - 1966 - Influência da adubação nas características dos agregados do solo da série "Chapadão". *Bragantia, 25(34): 263-70.*
34. **Grohmann, F.; J. P. Queiroz Neto, de** - 1966 - Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia, 25(38):421-32.*
35. **Grohmann, F.** e **O. E. Camargo,** - 1971 - Influência dos óxidos de ferro livres e da matéria orgânica na absorção da água pelo solo. *XIII Congr. bras. ciênc. solo. Vitória.*
36. **Haider, K.** e **J. P. Martin,** - 1967 - Synthesis and transformation of phenolic compounds by *Epicoccum nigrum. Soil Sci. Amer. Proc. 31(6):766-72.*
37. **Hallam, M. J.** e **W. V. Bartholomew,** - 1953 - Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17(4):365-68.*
38. **Haney, E. B.** - 1968 - The nature of shifting caltivation in Latin America. *Land Tenure Center, Wisconsin, Univ. LTC 45-59.*
39. **Hardy, F.** - 1970 - Suelos tropicales. *Herrero, México.*
40. **Hausmann, G.** - 1968 - Culture technique from the standpoint of conservation and incri-

mentation of organic matter in the soil, in the light of modern research. *Scient. Varia, 32:415-449.*

41. **Hernando, F. V.; C.P. Sanchez** e **B. C. Ortega,** - 1969 (1) - Acción del ácido húmico sobre la planta de maiz cultivada en solución nutritiva equilibrada de concentración superior a la normal. *An. Edaf. y Agrobiol. XXVIII (11-12):835-46.*
42. - - - - - - - -, **C. P. Sanchez** e **B. C. Ortega,** - 1969 (2) - Acción del humato sódico sobre el desarollo de diversas plantas. *An. Edaf. y Agrobiol. XXVIII (11-12):791-809.*
43. **Hirte, W. F.** - 1968 - The influence of organic matter to the microflora of different soils. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 207-17.*
44. **Jacquin, F.** e **C. D. P. Juste,** - 1965 - Contribution à l'étude de la matière organique des sols sableux de Gascogne. *Acad. Agric. France, 1190-1197.*
45. - - - - - - - -, - 1965 - Determination de la valeur agronomique de quelques compostes de sciure. *Bull. École Nat. Sup. Agron. Nancy, VII(1):24-8.*
46. **Jenny, H.** - 1930 - Consistency of organic matter in soil as dictated by the zonality principle. *Missouri Agr. Exp. Sta. Bull. 152.*
47. - - - - - - - -, - 1950 - Causes of high nitrogen and high organic matter content in certain tropical forest soils. *Soil. Sci. 69:63-69.*
48. - - - - - - - -, **A. E. Salem** e **J. R. Wallis,** - 1968 - Interplay of soil organic matter and soil fertility with state factors and soil properties. *Scient. Varia, 32:5-37.*
49. **Kellermann, V. V.** e **I. G. Tsyurupa,** - 1966 - Role of iron and organic matter in the aggregation of the soil clay components. *Pochvov. 8:940-47.*
50. **Khan, S.U.** - 1969 - Einfluss des Bewirtschaftungssystems und der Düngung auf die Humussäurefraktionen eines *gray-wooded soil. Geoderma, 3:247-54.*
51. **Kristewa, L. A.** - 1968 - About the nature of physiologically active substances of the soil humus and of organic fertilizers and their agricultural importance. *Scient. Varia, 32:700-21.*
52. **Köhnlein, J.** - 1957 - Futterbau und Bodenfruchtbarkeit. *Landw. Forsch, Sonderth, 9: 201-12.*
53. **Kolenbrander, G. J.** - 1955 - Die Verluste organischer Substanz im Stalldünger. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 69(2):125-34.*
54. **Koltakova, P. S.** e **G. A. Schwetschenko,** - 1966 - Einfluss langjähriger Kultur und systematischer Düngeranwendung auf Gehalt und Zusammensetzung von Humus in ausgelaugter Schwarzerde. *Agrokhimiya, 5:27-33.*
55. **Kononova, M. M.** - 1961 - Soil organic matter. *Pergamon Press, Oxford.*
56. - - - - - - - -, - 1968 - Humus of the main soil types and soil fertility. *Scient. Varia, 32: 361-82.*
57. **Lenz, K.** - 1968 - Über den Abbau von organischen Substanzen verschiedenen Alters mit unterschiedlichem N-Gehalten im Boden. *A. Thaer Arch. 12(5):413-23.*
58. **Levashkevich, G. A.** - 1966 - Interaction of humic acids with iron and aluminium hydroxides. *Pochvov. 4:422-27.*
59. **Mangenot, F.; F. Jacquin** e **M. Metche,** - 1965 - A propos des interaction plant-sol. I: Les exudates foliaires peuvent-ils être une source des substances humiques? *Oecol. Planta, 1:79-102.*
60. **Manil, G.** - 1961 - Quelques aspects actuels du problème de la matière organique des sols. *Medel. Landbouw. Gent. Deel XXVI (1):50-83.*
61. **Marques, A.Q.; J. Bertoni** e **G. B. Barretto,** - 1961 - Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia, 20(47):1143-82.*
62. **Martin, J. P.; K. Haider** e **D. Wolf,** - 1972 - Synthesis of phenols and phenolic polymers by *Hendersonula toruloides* in relation to humic acid formation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(2):311-15.*
63. **Miyasaka, S.; A. P. Camargo, de** e **R. Inforzato,** - 1966 - Efeitos da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta, na cultura do feijoeiro. *Bragantia, 25(32):349-69.*
64. - - - - - - - - e **L. A. C. Lovadini,** - 1967 - Efeitos sobre a produção do feijoeiro da aplicação de diversos tipos de matéria orgânica, não decomposta, na presença de adubação mineral com P, NP ou PK. *Bragantia, 26(14):187-96.*
65. **Mochizuki, T.** - 1965 - Orchard soils in relation to root rot disease in apple trees. *Nippon Dojo Hiryog. Zass. 36(10):311-16.*

66. **Molina, J. S.** - 1966 - La chala de maiz como mejoradora de los suelos, *Rev. argent. Agron. 22(3):154-57.*
67. - - - - - - - -, - 1968 - La composición aeróbia de la cellulosa y la estructura activa de los suelos. *Progr. Biodin. Prod. Solo, Sta. Maria/RGS, pp 217-24.*
68. **Naglitsch, F.** e **J. Matschke,** - 1970 - Untersuchungen über den Abbau organischer Substanz im Boden. *Pedobiol. 10:121-34.*
69. **Nehring, R.** e **W. Wiesemüller,** - 1968 - Untersuchungen über den Einfluss der Mineraldüngung auf den Humusgehalt der Ackerböden. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 119(1): 11-24.*
70. **Norstadt, A** e **T, M. McCalla,** - 1968 - Microbial induced phytotoxicity in stubble mulched soil. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 32(2):238-40.*
71. **Oliveira, J. B. de; F. Grohmann** e **J. P. Queiroz Neto, de;** - 1966 - Características dos agregados de solo podzólico vermelho-amarelo da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul. *Bragantia, 25(40):445-50.*
72. **Ortega, C.** - 1973 - Matéria orgânica, formas e análises. *Curso extraord. na Pós-Grad. da UFSM.*
73. **Pauli, F. W.** - 1961 - Humus and plant. *Sci. Progr. XLIX: 427-39.*
74. - - - - - - - -, - 1968 - Anthropogenic ecosystem and soil biodynamics. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 225-32.*
75. **Pignataro, I.; J. D. Jobim** e **S. Carvalho,** - 1973 - Efeito do húmus sobre o crescimento vegetal, com espaçamento diferente de irrigação. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria. não public.*
76. **Popenoe, H. L.** - 1957 - The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. *Proc. 9 pacific Sci. Congr. (Bangkok), 7:72-77.*
77. **Primavesi, A. M.** - 1973 - Polígrafo das aulas de "Nutrição Vegetal" *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria.*
78. - - - - - - - -, - 1973 - Beziehungen zeischen Düngung und Nematodenbefall und dessen Einfluss auf den Ertrag von Mais und Sojabohnen. *Agrochim. XVII:511-19.*
79. - - - - - - - -, - 1973 - Influência do teor de cálcio sobre o nível de matéria orgânica em solos nativos do Rio Grande do Sul. *XIV Congr. bras. ciênc. solo. Sta. Maria/RS.*
80. - - - - - - - -, - 1973 - Melhoramento da produtividade do solo por bactérias celulolíticas. *Relatório ao Cons. Nac. Pesquisa.*
81. **Primavesi A.** - 1966 - Recuperação de solos improdutivos por métodos biológicos. *Monogr. Progr. Biol. Suelo. Montevideo, pp 83-70.*
82. - - - - - - - -, - 1968 - Organic matter and soil productivity. *Scient. Varia, 32:654-99.*
83. **Reese, E. T.** - 1968 - Microbial transformation of soil polysaccharides. *Scient. Varia, 32:325-82.*
84. **Rivière, J.; Y. Fouard** e **G. Catroux,** - 1970 - Influence de application répeté de queue de mais sur la flore bacterielle du sol. *Ann. agron. 21:403-20.*
85. **Rotini, O. T.** - 1964 - Role of soil substances in root nutrition and plant metabolism. *VIII Int. Congr. Soil Sci. (Bucharest), pp 14-15.*
86. **Russell, E. J.** e **R. W. Russell,** - 1961 - Soil conditions and plant growth. *9 ed, Longmanns & Green, London.*
87. **Russell, E. W.** - 1968 - A importância da estrutura ativa do solo na história da humanidade. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 269-84.*
88. **Santoro, T.** e **G. Stotzki,** - 1967 - Influence of cations on floculation of clay minerals by microbial metabolites, determined by the electrical sensing zone particle analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(5):761-65.*
89. **Scharpensel, H. W.** e **E. Kruse,** - 1971 - Aufbau und Bindungsformen der Ton-Humussäurekomplexe. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 129(3):226-36.*
90. **Scheffer, F.** e **F. Przemeck,** - 1964 - Enzym-histochemische Untersuchungen über physiologische Wirkung von Huminstoffen auf das Wurzelmeristem von *Lepidium sativum. Abstr. VIII Int. Soil Sci. Congr. (Bucharest) pp 112-13.*
91. **Sekera, F.** - 1943 - Der gesunde und der kranke Boden. *Parey, Berlin.*
92. **Spratt, E. D.** - 1966 - Fertility of a chernozem clay soil after 50 years of use, with and without forage plants in crop rotation. *Canad. J. Soil Sci. 46:207-12.*
93. **Sowdon, F. J.** e **H. J. Atkinson,** - 1968 - Die Wirkung langjähriger Gaben organischer Dünger auf die organische Substanz eines Tones und Sandes. *Canad. J. Soi Sci. 48: 323-30.*

94. **Swaby, R. J.** - 1968 - Stability of soil organic matter and its significance in practical agriculture. *Scient. Varia, 32:582-613.*
95. **Tan, K. H.; E. R. Beaty; R. A. McGreery** e **J. D. Powell,** - 1972 - Humic-fulvic acid content in soils related to the ley clipping management and fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(4):565-67.*
96. **Tyurin, I. V.** - 1965 - Soil organic matter and its role in soil fertility. *Izd. Nauka, Moskow.*
97. **Vageler, P.** - 1930 - Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde. *Parey, Berlin.*
98. **Voisin, A.** - 1960 - Dynamique des herbages. *Maison Rustique, Paris.*
99. **Waksman, S. A.** - 1938 - Humus, origin, chemical composition and importance in nature. *Wilkins, Baltimore Md.*
100. --------, - 1968 - Microbes, organic matter and soil fertility. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 321-332.*
101. **Watters, R. F.** e **L. Bascones,** - 1971 - The influence of shifting cultivation on soil properties at Altamira-Calderas. *FAO forestry developm. paper, 17:291-99.*
102. **Weakly, B.; T. M. McCalla** e **F. A. Haskins,** - 1967 - Aggregate size distribution under influence of microorganisms. *Soil Sci. 103:75-77.*
103. **Webb, L. J.** - 1966 - Note on the studies on rain forest vegetation in Australia. *Proc. Kand. Symp. UNESCO, 1966, pp 171-73.*
104. **Wiebe, H. J.** - 1966 - Einfluss von Stroh und Torf auf ertragsbestimmende Faktoren des Bodens. *Gartenbauwiss. 31:125-62.*
105. **Willians, W. A.** - 1967 - The role of legumes in pasture and soil improvement in the neotropica. *Trop. Agric. 44(2):103-15.*
106. **Zaystev, B. D.** - 1966 - Influence of exchangeable calcium on the content of organic matter and the total nitrogen in coarse humus horizons. *Pochvov. 12:1380-82.*
107. **ElSwayfi, S. A; S. Ahmed** e **L. D. Swindale,** - 1970 - The influence of exchangeable cations on the physical properties of tropical red and black soils. *J. Soil Sci. 21: 188-98.*

Capítulo 5

LA BIOLOGIA DEL SUELO

MESO Y MACROFAUNA. SU MANEJO

Casi nadie se da cuenta de que millones de animalitos pululan por cada metro cuadrado del suelo. Una parte de ellos son tan pequeños, que sólo pueden ser vistos con microscopio (microfauna). En parte son visibles al ojo humano, pero de tamaño tan reducido, que sólo pueden ser vistos observando atentamente (mesofauna). Y, en parte, son de tamaño mayor, como las lombrices, ciempiés e innumerables insectos (macrofauna), de modo que ya son conocidos por todos.

Generalmente nadie presta atención a los animales del suelo, mientras no sean una plaga y no incomoden. Además, tampoco se pregunta la mayoría de nosotros, por qué esos animalitos constituyen una plaga, sino que simplemente, los combatimos con defensivos de alta toxicidad, como DDT, BHC, Aldrin y otros que hoy ya están prohibidos en la mayoría de los países civilizados, para uso en cultivos y en rebaños. En la euforia por proteger sus cosechas de plagas, muchos pasaron los límites de lo razonable, poniendo en peligro toda la vida silvestre, tanto del agua como del campo. Hoy en día se observa que en los países donde existe el uso racional de pesticidas, los residuos tóxicos en animales y personas son mínimos, mientras que en los países en que todavía se utilizan los defensivos irracionalmente, la intoxicación de animales y humanos es impresionante, causando gran cantidad de "enfermedades de civilización", o mejor dicho, de "principio de civilización".

El mayor peligro de los defensivos es que las plagas se tornan resistentes, obligando a la producción de fórmulas cada vez más tóxicas.

De esta forma, la agricultura es también cada vez más difícil, más arriesgada, más onerosa y más desastrosa, poniendo en peligro a todo el medio ambiente y, con ello, la sobrevivencia del hombre en vastas áreas de nuestro planeta. A pesar de todo el progreso técnico, el hombre es y será parte de la naturaleza.

¿Qué ocurrió? ¿Por qué las plagas y pestes se van presentando con frecuencia y violencia siempre en aumento?

Se explica que con la creación de variedades vegetales de mayor productividad, preferidas por las plagas, se produce la multiplicación de éstas. Otros dicen que antes también había plagas pero que nadie se preocupó con ello, porque no había agricultura industrial. Alguien dijo: "Es mejor morir envenenado que morir de hambre". Pero no existe necesidad ninguna de morir de hambre ni envenenado; existe tan sólo la necesidad de cambiar nuestro raciocinio industrial por uno ecológico.

Si los soldados traspasan la frontera de su país y matan, no lo hacen simplemente porque existen y porque son desordenados, pero sí porque hay una razón seria que los impulsa a actuar así. Si los animales se tornan plaga, también hay una razón muy seria para que esto sea así. Y la razón es que el hombre, ignorando la existencia de equilibrios muy delicados que organizan toda la vida en el mundo, interfirió en estos equilibrios de manera muy desgraciada, y ahora está pagando por ello. Si nuestro mundo actual está lleno de catástro-

fes como inundaciones, sequías y enfermedades, superpoblación y hambre, escasez de agua y formación de desiertos, es debido a la propia actividad humana, cuya ciencia es increíblemente limitada, entubada en canales cada vez más estrechos, sabiendo cada vez más de cada vez menos en su especialización, perdiendo así completamente la visión del conjunto.

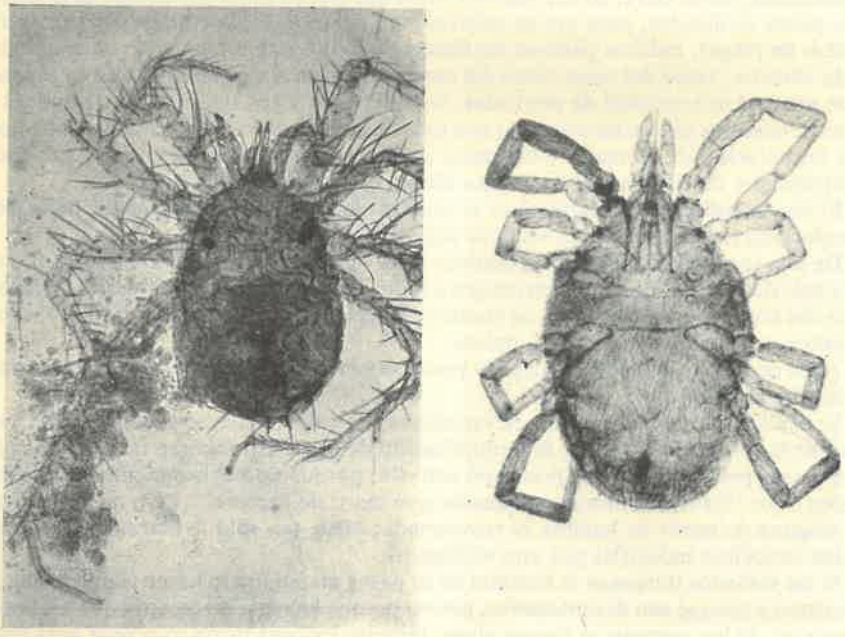
La vida no se tornó más humana con las violaciones que el hombre hizo en la naturaleza. Al contrario, se volvió mucho más difícil, entablándose hoy una lucha permanente entre ambas partes.

El mundo podría ser bien distinto si estuviese manejado de acuerdo a las leyes naturales. Pero, para poder manejarlas bien, se necesita conocerlas.

Aun viviendo en ciudades de concreto, vidrio y asfalto, el hombre no escapa a los ciclos vitales, y *no escapa de ser sólo un miembro del ciclo vital que rige a toda la naturaleza,* desde el átomo hasta las estrellas. *La lucha contra la naturaleza es, por lo tanto, la lucha del ser humano contra sí mismo.*

Todo ser vivo, por pequeño e insignificante que pueda parecer, tiene alguna función en el ciclo de la vida, que reside, básicamente, en la formación de sustancias por las plantas superiores y en la destrucción de estas sustancias por microorganismos y micro y mesofauna. *Si no hubiese destrucción, la vida no podría continuar,* porque el mundo estaría abarrotado de plantas y animales muertos, de residuos orgánicos y de basura. De este ciclo de formación y degradación depende toda la vida animal, desde la ameba hasta el hombre. Y cuanto más se acerca a la destrucción total de la sustancia, tanto más se aproxima también al inicio de una nueva vida.

Toda vida sobre la tierra firme se inicia en el suelo, que determina la micro y mesovida, siendo éstas, a su vez, factores de formación del suelo. En un metro cuadrado de suelo de pastoreo, hasta 30 cm de profundidad, viven, según **Dunger** (1964) y **Kevan** (1965) los siguientes animales:



Figs. 5.1 y 5.2 *Acaros del suelo, no parasitarios (tamaño real: 1 a 2 mm).*

Cuadro 5.1

Animal	*Cantidades* mínimo	máximo	óptimo	*Peso en g del número óptimo de animales*
protozoarios (amebas)	—	—	1.551.000.000	10
nematodes	1.800.000	120.000.000	21.000.000	40
ácaros	20.000	400.000	100.000	10
colémbolos (saltadores)	10.000	440.000	50.000	20
ciempiés, milpiés y otros	1.200	2.900	2.500	23
hormigas	200	500	—	—
larvas de insectos	—	—	—	60
lombrices (oligochetas)	600	2.000	800	400
lombrices menudas (Enchytraides)	10.000	200.000	200.000	26
moluscos (babosas, caracoles)	20	1.000	50	30

Peso total de la fauna de 1 m^2 de suelo, hasta 30 cm de profundidad: 619,0 g.

Esto significa que el 0,206 % del suelo agrícola son animales. Parece muy poco y es casi insignificante. Y si dedujésemos las lombrices, restarían sólo 219 g, lo que es el 0,07 % del suelo agrícola.

En especial los animales menores, como protozoarios, nematodes, colémbolos y ácaros, se multiplican muy rápidamente. Su importancia no está en el número en sí, ni en el peso, pero sí en el índice de renovación. Sólo los protozoarios, y entre ellos las amebas, tienen 3 a 4 generaciones por día. Un mg de amebas se multiplica hasta llegar a 1 kg en 12 días, y en 15 días más llegarían a 1 tonelada. En más de un mes su peso equivaldría al peso de 1 ha de suelo arable, es decir, 3 millones de kilogramos. Si no estuvieran bajo el control de los otros animales del suelo, y si no dependiesen de la alimentación local, en poco tiempo sólo existirían amebas en el mundo, y la superpoblación de amebas sería mucho más violenta que la del hombre.

Los nematodes pueden alcanzar una nueva generación entre 5 y 50 días, según la especie, y dependiendo de los factores que determinan sus poblaciones. El promedio es de 21 días. Se podría hacer un cálculo semejante al de las amebas, para los nematodes.

Los colémbolos necesitan de 30 a 50 días desde el huevo hasta el estado de reproducción.

En los ácaros e insectos, los estados son algo más prolongados y dependen también de la temperatura (22) y de la actividad metabólica de las plantas (55).

En todo caso, esto nos da una visión de lo que sería el mundo si cada ser pudiese multiplicarse libremente, sin ser controlado por otros. Sin embargo, existen en el suelo dos sistemas de control muy rígidos:

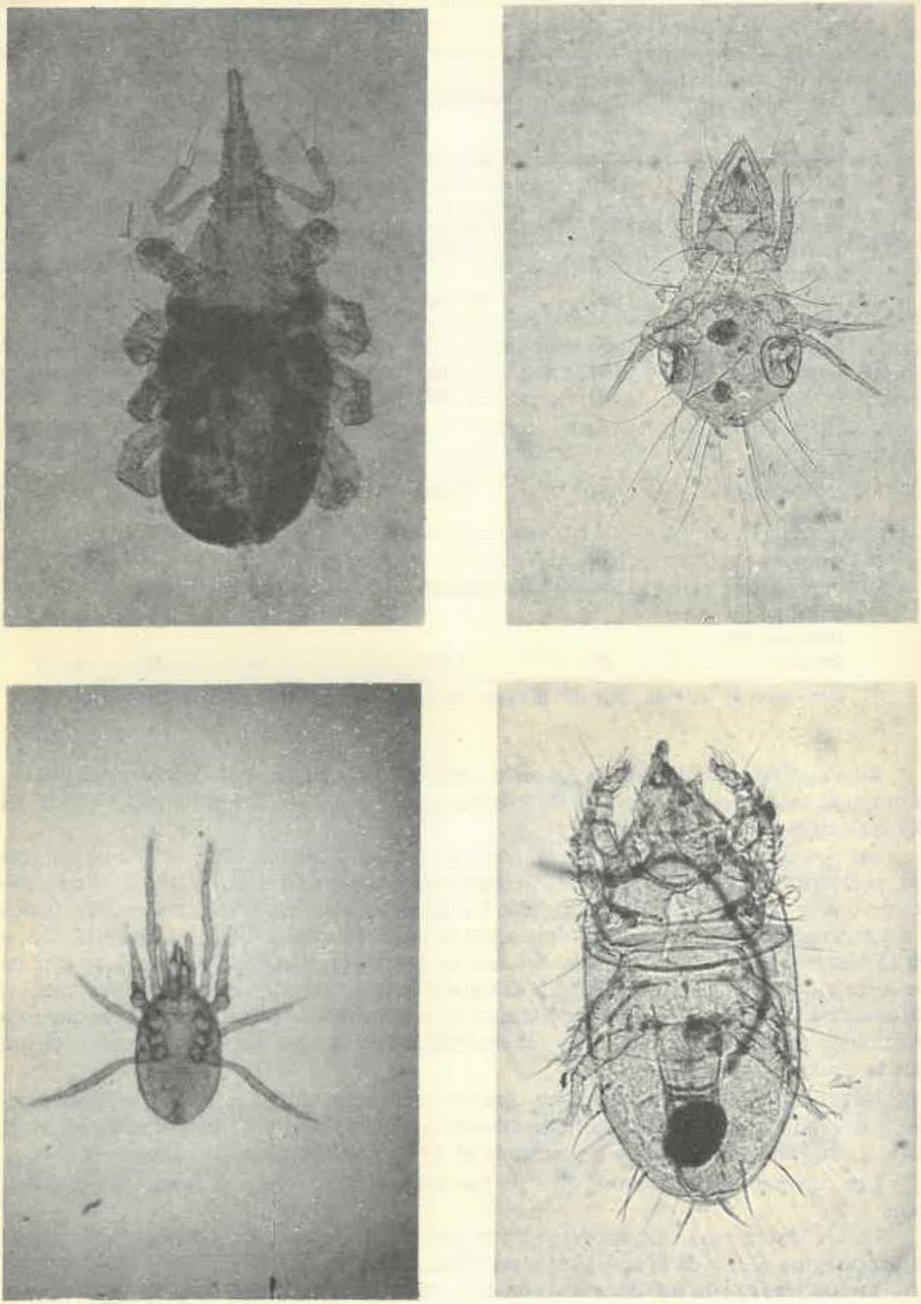


Fig. 5.3 a 5.6 *Acaros del suelo, no parasitarios (tamaño real: 1 a 2 mm).*

Fig. 5.7 a 5.9 *Colémbolos o saltadores (tamaño real: 1 a 3 mm).*

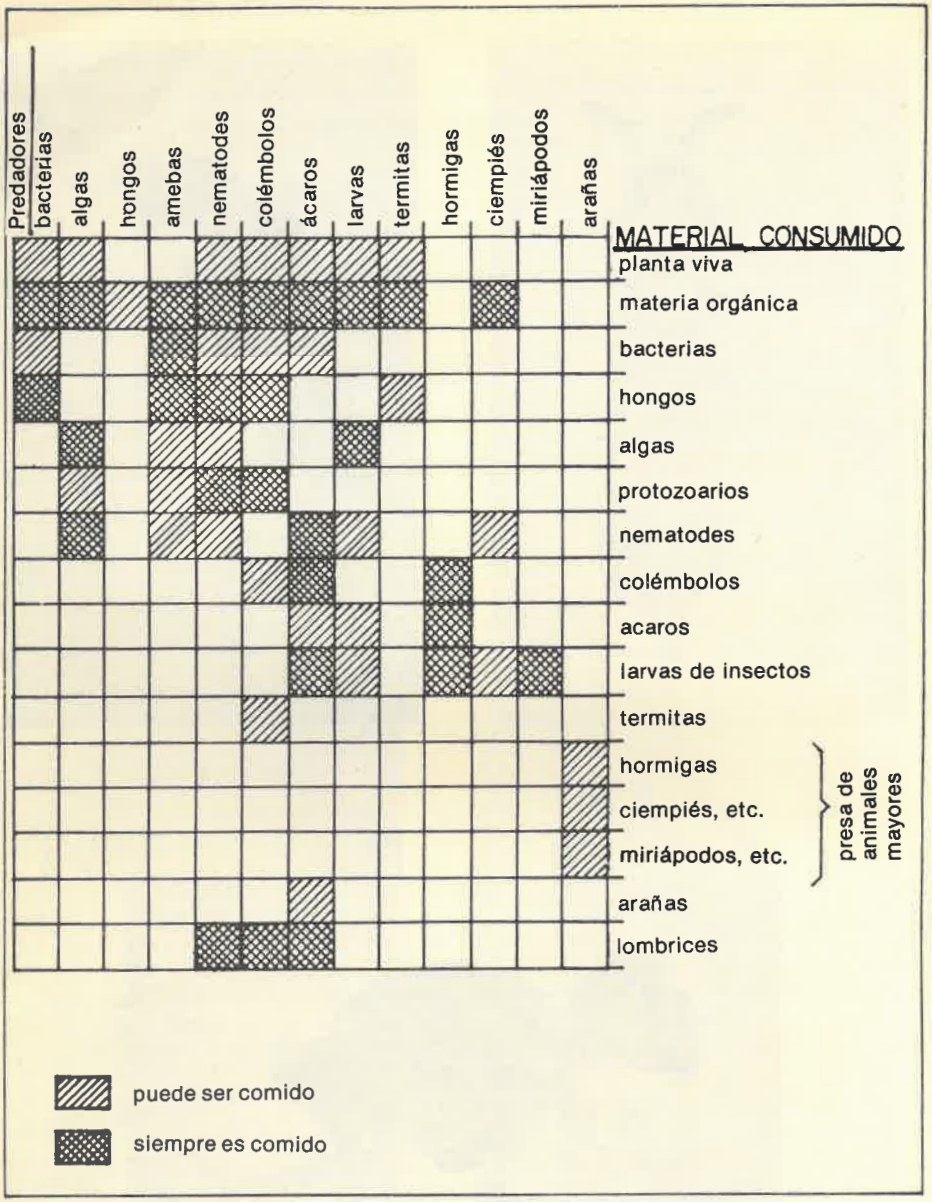


Fig. 5.10 *Esquema de la "cadena alimenticia" de la micro, meso y macrofauna del suelo (según* **Balogh**, *1958, organizado por* **Primavesi**).

1. enzimas excretadas por otros organismos, especialmente bacterias y hongos, pero también por animales como amebas, nematodes y hasta lombrices, que delimitan su espacio, y que pueden hasta suprimir a otros seres;
2. el alimento disponible en la "cadena alimenticia" o "pirámide de energía", donde el ser de energía inferior sirve de alimento al ser de concentración energética superior (6).

Fig. 5.11 *Lombriz (tamaño 30 mm).*

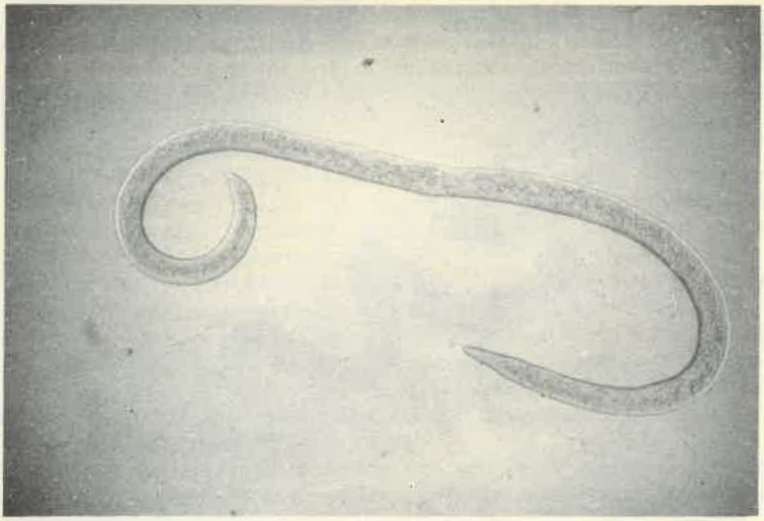


Fig. 5.12 *Nematode de vida libre (tamaño 3 mm).*

Verificamos que cada animal es presa de otro, y es controlado por éste.

EL SUELO Y SU VIDA

El suelo no es un conjunto residencial donde los seres vivos coexisten sin conocerse unos a otros. No existen especies aisladas, hábilmente clasificadas, existe sí, una sociedad íntimamente interrelacionada.

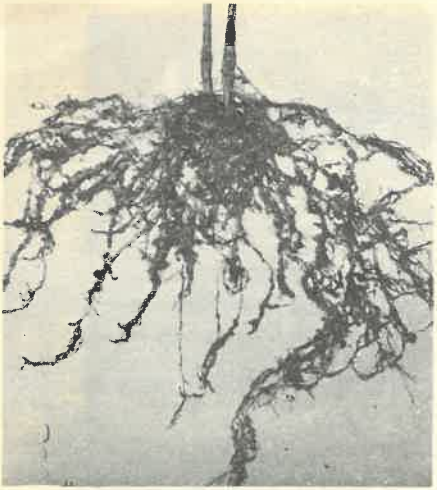


Fig. 5.13 *Raíz de soja atacada por nematodes parásitas* (Meloidogyne sp.).

Fig. 5.14 *Nematodes parásitas extraídas de la raíz de soja.*

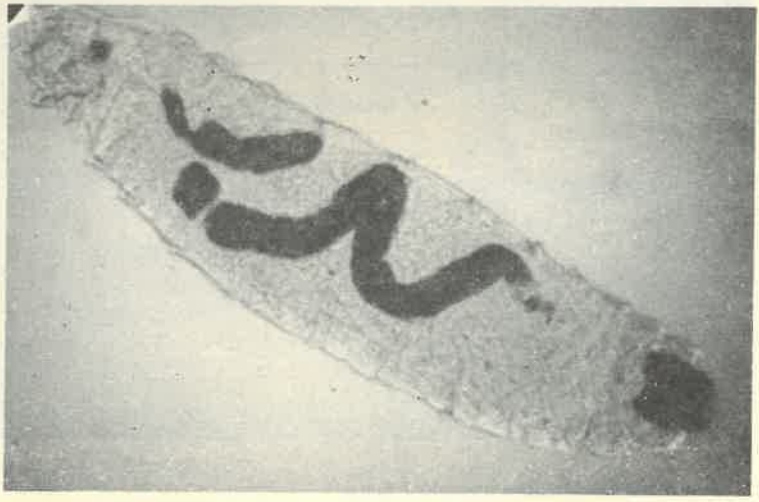


Fig. 5.15 *Larva de díptero (insecto), tamaño natural 3 mm.*

El hombre, en su hábito de "clasificar" todo en órdenes, familias y especies, según criterios arbitrarios, destruyó la visión de la sociedad y comunidad animal.

El suelo funciona como un cuerpo, con la diferencia de que no tiene sus "órganos" alineados a lo largo de una columna vertebral, y su "sangre" no circula en arterias cerradas, sino en poros abiertos. En Biología se denomina ser vivo a "todo lo que posea metabolismo propio". El suelo lo tiene. Es considerado un ser terrestre, ya que aspira oxígeno y

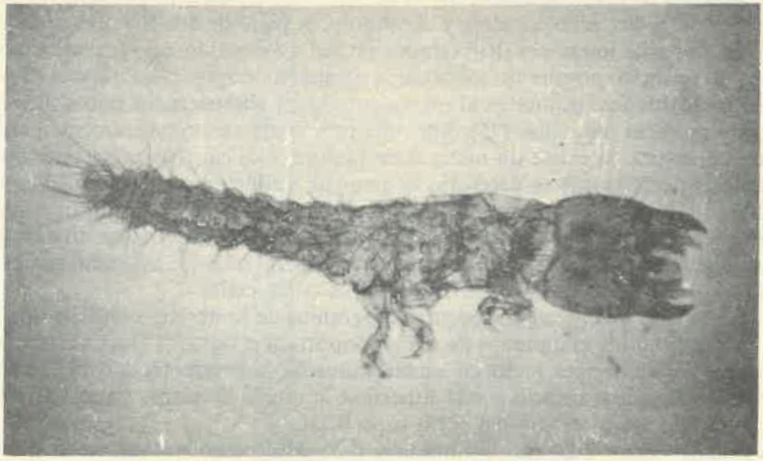


Fig. 5.16 *Larva de coleóptero (abejorro), tamaño normal 3 mm.*

libera gas carbónico (CO_2). Pero la vida del suelo no es fácil de entender, porque estamos acostumbrados a ver los cuerpos alineados en una osamenta y cubiertos por una piel.

Pero tenemos, por ejemplo, las termitas (*Termitae sp.*) que constituyen "un cuerpo" a pesar de estar compuestas de millones de seres separados. Tienen sólo una cabeza en común: la reina. Cuando ésta muere, todo el pueblo muere dentro de las 24 horas, por faltar su centro nervioso. En el suelo falta esta "cabeza", que las termitas todavía poseen, y lo que regula la vida son los equilibrios biológicos.

Los seres vivos en el suelo forman parte del mismo, modificándolo e influenciándose mutuamente. El suelo se forma a través de su vida, y la vida es típica a las características específicas del suelo. Quiere decir: el suelo determina su vida y la vida determina el suelo.

Por eso, **Ghilarov** (1965) consiguió clasificar los suelos según su vida, como nosotros los clasificamos según sus horizontes.

Los seres vivos, ya sean bacterias o animales, viven en sociedad donde imperan las mismas leyes que rigen nuestra sociedad de consumo. Vale la ley del más fuerte, la defensa del área vital. Existen asociaciones, pero existen igualmente los vicios en el reino animal, como hormigas toxicómanas a quienes les gusta comer colémbolos tóxicos para quedar embriagadas. Existe la corrupción en que, por ejemplo, el colémbolo perseguido por termitas-guerreras, les ofrece un bocado de comida y es inmediatamente dejado en paz, pudiendo robar del hormiguero.

Uno de los mayores méritos de la micro y mesofauna del suelo es el de mantener a la población bacteriana siempre nueva y activa. Comen las bacterias adultas, eliminando así a las menos activas.

Todos saben que los fijadores de nitrógeno, como los *Azotobacter*, fijan hasta 4 veces más en presencia de amebas como la *Colpodia*. Lo mismo puede ser dicho de las bacterias que producen coloides en la descomposición de celulosa, para la agregación del suelo, como las *Cytophaga* (14, 56, 76), y que sólo son activas en la producción de coloides cuando están asociadas con amebas.

EFECTO DE LA MESO Y MACROFAUNA SOBRE LA ESTRUCTURA Y FERTILIDAD DEL SUELO

La mayoría de los componentes de la mesofauna y muchos de la macrofauna mejoran el suelo, en especial en lo que respecta a la movilización de nutrientes, a través de enzimas,

y el mejoramiento de la estructura, a través de la activación de la microvida. En parte, mejoran la física del suelo, revolviéndolo y cavándolo. A pesar de que Brasil es uno de los mayores exportadores de lombrices (Rio Grande do Sul y Pernambuco), generalmente existen muy pocas en su suelo, porque no soportan la insolación directa y las quemas. En especial en los suelos escardados, expuestos al sol, calentados, y compactados por la lluvia, no son un ambiente propicio para ellas (75). Sin embargo, existen espontáneamente en todos los suelos con cobertura, si existe un mínimo de fósforo y calcio. No se necesita inocular el suelo con lombrices, lo que es necesario es crear un ambiente para que puedan vivir.

El labrado, la quema, la exposición del suelo al sol y el uso de fertilizantes amoniacales hacen que la mayoría de la mesofauna desaparezca. Esta es una de las razones principales por las que se trata de no labrar en muchos países del mundo, así como también introducir plantas protectoras del suelo en los cultivos comerciales.

En Australia se dice: "según cuántos kilogramos de lombrices contiene una hectárea de suelo pastoril, tantos kilogramos de ovinos soportará el pasto". Hacen esta relación directa, porque las lombrices mejoran sustancialmente la productividad del terreno. Son igualmente capaces de transportar a la superficie la arcilla lixiviada, hacia horizontes más bajos, mejorando así la textura del suelo superficial.

Las galerías construidas por los animales del suelo, como larvas, insectos, lombrices, abejorros y otros, sirven a la penetración de las raíces, a la infiltración del agua y a la circulación del aire. La actividad animal no puede ser separada de la actividad microorgánica del suelo, ya que muchas veces los animales crean condiciones favorables para la microvida (44), pero, por otro lado, la controlan. También las enzimas excretadas por los animales del suelo, como lombrices, nematodes saprófagos (que viven de materia orgánica muerta), larvas de insectos, etc., pueden estimular el crecimiento de plantas de cultivo. Por ejemplo, las lombrices estimulan el crecimiento de la soja y el trébol blanco (31).

Existe una relación específica entre los animales de un cierto suelo y sus condiciones edafológicas. A medida que el suelo empeora en sus condiciones físicas y químicas, disminuye la relación entre ácaros y colémbolos.

Cuadro 5.2 *Relación entre ácaros y colémbolos* (**Maldague**, *1961*)

Biotipo	*Acaros N°*	*Acaros %*	*Colémbolos N°*	*Colémbolos %*	*Proporción*
selva ribereña	57.242	79,5	10.123	14,1	5,65
selva seca	49.749	78,1	11.509	18,1	4,32
pasto de Brachiaria	56.144	63,7	26.973	30,6	2,08
girasol	23.144	55,5	15.485	37,1	1,49

Cuanto más adensado está el suelo, más inhóspito es, y tanto menor se torna la población acarina.

En la figura 5-17 se muestra el efecto de algunos animales sobre los nutrientes disponibles (50, 51). Esto sucede en parte por la incorporación y descomposición de materia orgánica. Sin embargo, no siempre es el caso, porque las termitas aflojan el suelo cerca de sus montículos, y aumentan mucho el tenor en nitrógeno y un poco el de calcio; a pesar de detestar la materia orgánica, se especializan en material lignificado, como raíces y madera que, no obstante, debe ser atacado primero por microorganismos que lo predigieren.

Las hormigas aflojan el suelo, enriqueciéndolo sustancialmente con calcio. Las lombrices son las más efectivas mejoradoras del suelo. Aparte de removerlo pasando toda la capa arable por sus intestinos cada tres años, también poseen glándulas calcíferas, las "glándulas de Morren". Neutralizan el ambiente por los excrementos ricos en calcio. Sabe-

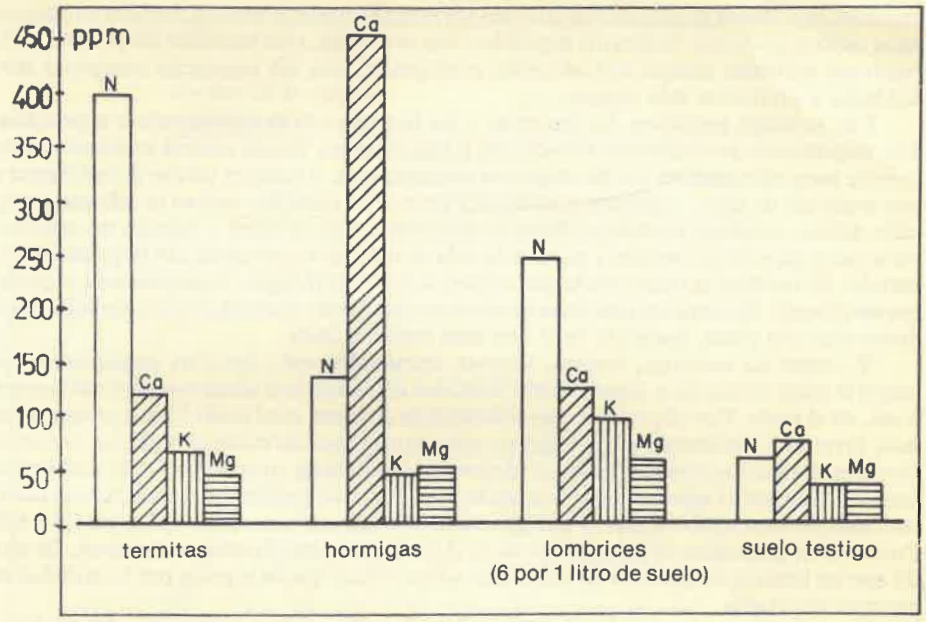


Fig. 5.17 *Aumento de nutrientes disponibles por la actividad de algunos animales del suelo (***Primavesi,** *1968).*

mos actualmente que muchos animales del suelo, como larvas de insectos, miriápodes, etc., poseen glándulas calcíferas (66) (fig. 5-17).

También es conocido el efecto amonificante de muchos animales del suelo, principalmente porque en sus excrementos prosperan microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico.

Como la mesofauna diversificada depende de la materia orgánica en el suelo y su aireación adecuada, la decadencia física contribuye para la desaparición de la mayoría de los animales que en él habitan, quedando sólo algunas especies que soportan las condiciones adversas. Y éstas tienen su proliferación garantida por falta de enemigos.

En suelos ricamente poblados por mesofauna, el humus producido siempre es de buena calidad, mejorando la CTC del suelo. Nunca se forma humus ácido en suelos con actividad animal diversificada. Los animales comen la materia orgánica, predigiriéndola, de modo que pueda ser atacada directamente por bacterias. *Donde existe una meso y macrofauna activas hay menos hongos en el suelo,* porque los animales ejecutan la tarea de romper la estructura de lignina y de celulosa. Por lo tanto, *hay menos peligro de enfermedades fúngicas.*

EL FACTOR ALIMENTO COMO REGULADOR DE LA POBLACION DEL SUELO

Cada suelo tiene su potencial energético específico. Esta energía existe en forma de carbono, ya sea propia de la materia orgánica muerta, de animales muertos, o de deyecciones de animales (6), de bacterias o de micro y mesoanimales. El número y las especies animales que pueblan el suelo son, por lo mismo, determinadas en su mayor parte por la alimentación disponible. Cuanto mayor sea el tenor en materia orgánica, tantos más animales habrá, es decir, animales saprófagos, que se alimentan de materia orgánica. Estos

animales saprófagos generalmente también aprecian bacterias y hongos, porque a través de éstos reciben proteínas fácilmente digeribles. Por otro lado, a las bacterias les gustan las deyecciones animales porque son alimento predigerido, con las sustancias complejas desdobladas a productos más simples.

Los animales pequeños, las bacterias y los hongos, son extremadamente especializados, disponiendo generalmente sólo de una o dos enzimas. Y cada enzima solamente es suficiente para adicionar un ion de oxígeno a una sustancia, o sustraer un ion de hidrógeno o una molécula de agua, transformándola muy poco. Por ejemplo, oxidan la celulosa a azúcares ácidos, azúcares primarios, hasta el desdoblamiento en agua y dióxido de carbono. Pero eso es un extenso camino y permite la vida de muchos organismos a lo largo de este recorrido. Es también la razón por la que existen tantos detritófagos, o simplemente coprófagos en el suelo. Es como en una línea de desmontaje, donde decenas de seres trabajan para desmontar una pieza, haciendo cada uno una pequeña parte.

Y, como las bacterias, hongos, amebas, nematodes, etc., son muy pequeños, en su mayoría están obligados a digerir, o por lo menos a predigerir el alimento fuera del cuerpo, o sea, en el suelo. Por ello existen una infinidad de enzimas en el suelo (como ureasa, catalasa, invertasa, fosfatasas, etc.). Ellas no sólo transforman la materia orgánica del suelo, sino que también aumentan lo que se denomina "potencial enzimático". *Un suelo no se vuelve activo por el número de microorganismos o microanimales presentes, pero sí por la cantidad de enzimas existentes,* y que generalmente son más activas en pH entre 5,0 y 6,0. Puede haber gran número de organismos en el suelo, pero hambrientos e inactivos. De modo que no interesa la cantidad de seres, sino su actividad, que se expresa por la cantidad de enzimas excretadas.

En este sistema de digestión externa, lógicamente aparecen otros pretendientes listos para participar en la comida. Por eso, cada uno de los seres microscópicos defiende su espacio vital por medio de antibióticos, que hacen que su comida sea inalcanzable para los otros. También las raíces de las plantas usan este sistema. Los antibióticos son específicos, pero hay seres, como las amebas, capaces de quebrar las barreras antibióticas, como también hay microorganismos que se especializan en ellas y viven de esas toxinas. Hay, por lo tanto, una complicadísima interrelación entre todos los seres vivos del suelo e inclusive la raíz vegetal. Esta relación va desde la antipatía y perjuicio mutuo a través de antibióticos y tóxicos (*alelopatía*), por sobre asociaciones, hasta la simbiosis, que no sólo existe entre microorganismos y la micro y mesofauna y en la mesofauna entre sí, sino también entre la microvida y las raíces vegetales.

Por ejemplo, muchas bacterias viven con sus fagos en el cuerpo, las amebas pueden vivir junto con los hongos, los nematodes y las termitas tienen amebas y bacterias en sus intestinos para la digestión, y en el intestino de las lombrices viven nematodes. Las simbiosis, sin embargo, son asociaciones que sólo funcionan mientras todo anda bien. El simbionte se torna parásito cuando el "hospedador" se debilita por alguna adversidad. De modo que los límites entre la íntima colaboración que es la simbiosis, y el parasitismo (4), son delicados.

Es una regla fija que la cantidad de seres vivos que puede existir en un suelo está determinada por la cantidad de alimento existente en el mismo. Alimento es todo lo que incluye carbono, excepto el dióxido de carbono puro, y aun éste es aprovechado por los microseres provistos de clorofila. La población de un hábitat no puede ser aumentada mientras no se adicione otra fuente alimenticia. Es curioso que, a pesar de todo, cuando el alimento se duplica, la población no se duplica, pero se torna más activa (ley de *Thienemann*). Los animales más favorecidos modifican el ambiente progresivamente a su favor, formando un nuevo equilibrio que puede ser mejor o peor para las plantas cultivadas allí.

Así, cada ambiente tiene su fauna agrícola propia (fig. 5-18) y no existe un metro cuadrado de terreno que tenga idéntica fauna del metro cuadrado siguiente, ya que en la "cadena alimenticia" entran minerales, excreciones radiculares, bacterias, algas, hongos, materia orgánica, etc.

Cuadro 5.3. *Distribución de la materia orgánica entre los seres vivos del suelo* (**McFadyen**, *1961*)

Reciben de la materia orgánica en el suelo	*Organismos*
85 %	hongos y bacterias
8 %	protozoarios, especialmente amebas
3,5%	nematodes, ácaros e insectos
3,5%	moluscos, miriápodes, oligoquetas, etc.

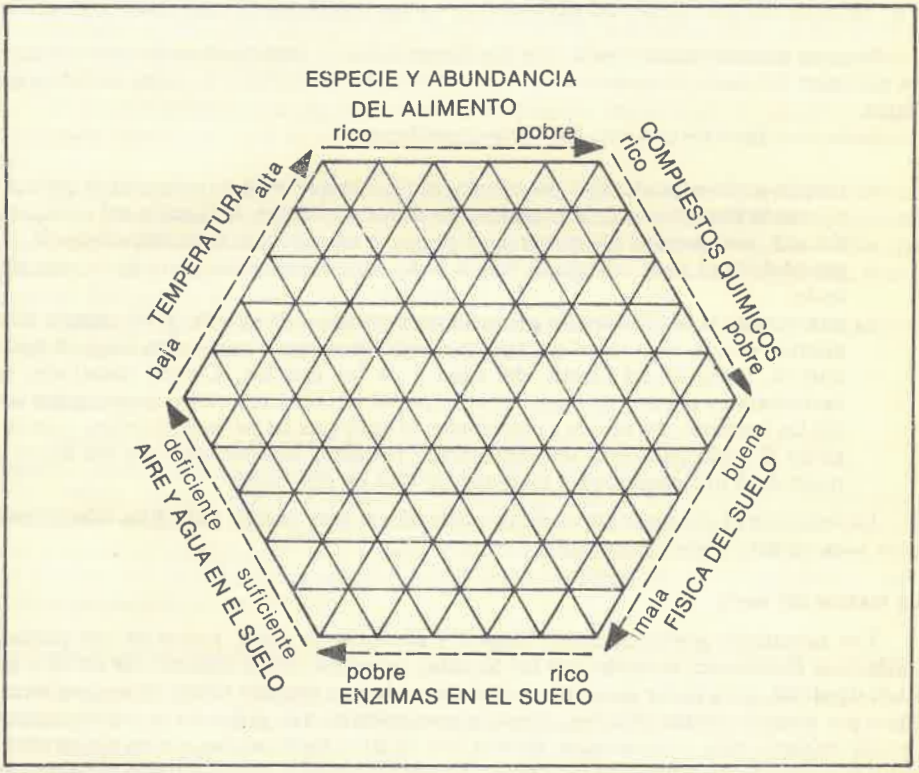


Fig. 5.18 *Esquema de las interrelaciones de los factores del suelo, con su población. (Cada cruce de líneas es otra alternativa de composición de especies.)* (**Baiogh**, *1958*).

LOS FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE Y SU ACCION SELECTIVA SOBRE LA FAUNA

Hoy día se habla mucho del medio ambiente, pero se imagina muy poco bajo esta expresión. Medio ambiente son todos los factores físicos, químicos y biológicos de un lugar. Por lo tanto, *los seres vivos que existen en un determinado lugar siempre son una comunidad establecida por las condiciones reinantes, y nunca especímenes aislados, que están allí por casualidad.*

El medio ambiente de un lugar incluye tanto el suelo, el clima, como también factores extraños introducidos por el hombre, como son los cultivos agrícolas, fertilizantes, irrigación, herbicidas, etc. (12).

Principales factores abióticos para la fauna del suelo

1. Humedad excesiva o sequía (4),
2. temperaturas del suelo muy elevadas o muy bajas (36),
3. luz solar directa (21),
4. disturbios frecuentes como aradas, escardados, etc. (23),
5. quemas (12),
6. fertilización con sulfato de amonio (74), en las cantidades normalmente usadas.

Nuestra primera reacción será: si la luz directa del sol y temperaturas elevadas matan a los animales del suelo, manteniéndolo bien soleado, los mataremos a todos, inclusive las plagas.

Sería muy fácil si fuera así. Conviene recordar que:

a) ningún suelo es productivo sin su vida, porque lo que le da su potencial de producción es la bioestructura, la movilización de los nutrientes, la fijación del nitrógeno del aire, la capacidad de retener agua contra la gravedad, la aireación adecuada, su permeabilidad para las raíces, etc. Y todo depende en gran parte de la vida del suelo;
b) aun cuando la productividad del suelo no dependiese de su vida, produciendo bien estando estéril, existiría el transporte rápido de micro y meso-seres hacia el suelo muerto, a través del viento, del agua y de los insectos. Ciertos nematodes se deshidratan y pueden ser transportados por el viento. Las amebas se enquistan como las bacterias, los ácaros y colémbolos se agarran a las patas de insectos, y en seguida el suelo pasaría a ser nuevamente poblado, aunque sólo con los micro y meso-seres que encontrasen facilidad de vida en este lugar.

La selectividad del suelo para con su población es muy grande (60). Esta selectividad tiene lugar debido a los siguientes factores:

La textura del suelo

Los nematodes prefieren suelos limpios y arenosos, es decir, suelos en que puedan trasladarse fácilmente, mientras que las termitas necesitan, como mínimo, de un 20 a un 30 % de arcilla, para poder construir sus galerías. Muchos insectos tienen patas cavadoras, como por ejemplo ciertas chinches, mientras que animales más delicados se ven impedidos de vivir en suelos más compactados. Esta es una de las razones por las que en suelos adensados o compactados aumentan las plagas. Se ven favorecidas por la estructura compacta del suelo y por condiciones inhóspitas para muchos otros micro y meso-seres.

La humedad del suelo

En tiempos de sequía, casi toda la vida del suelo comienza a declinar. Sólo a 50 cm de profundidad habría humedad suficiente para la vida en épocas de sequía (1). Los animales cavadores se refugian allí. Los no cavadores se enquistan o mueren. Así, los suelos tropicales en uso agrícola, por lo general tienen muy pocas especies animales, aunque éstas aparecen en número impresionante. Predominan aquellos que tienen la capacidad de deshidratarse o enquistarse, como es el caso de ciertos nematodes, o de sobrevivir a las épocas adversas en forma de crisálidas. En la estación de las aguas éstos reviven, casi sin enemigos o competidores. Otros sobreviven en forma de huevos, como los ácaros.

Si la humedad fuese excesiva, ya sea por agua estancada o por irrigación, la mayoría

de los animales de la tierra moriría, sobreviviendo sólo unas pocas especies que puedan vivir en estas condiciones de anaerobiosis. Los nematodes están entre ellas.

La porosidad del suelo

De la porosidad del suelo depende la circulación del aire, del agua y de la propia fauna edáfica. Un suelo compactado no sólo es anaerobio, también es inadecuado para muchos animales, oponiéndose a sus necesarias migraciones, impidiendo así su existencia. Las hormigas, termitas, larvas de coleópteros y dípteros, ciempiés y chinches cavan con toda facilidad. La presencia de termitas siempre es señal de suelos compactados.

Las lombrices, aunque son buenas cavadoras, encuentran en la falta de oxígeno, o mejor dicho, en la acumulación de CO_2 (61, 63) una limitación a su existencia. En los suelos compactados puede haber en lugar de 0,2 a 0,3 % de CO_2, concentraciones de hasta 9,4 % de CO_2 (26), mortíferas para la mayoría de los seres vivos. Las lombrices se anudan y mueren.

El drenaje adecuado del agua de lluvia es otro factor importante. En suelos con agua estancada vive sólo el 1/35 de la población que vive normalmente en suelos bien drenados (4).

La fauna del suelo se destruye o es inducida a la migración, debido a la humedad excesiva. Las condiciones anaerobias también son perjudiciales a muchos animales, especialmente en terrenos compactados. Es por causa de la reducción de los nitritos a *amonios, que son muy tóxicos para todos los animales.* No es el nitrógeno en sí lo que perjudica, sino el amonio (NH_3), que es considerado un abiótico (21).

También el gas sulfhídrico (H_2S) en suelos encharcados, en concentraciones superiores a 0,5 %, es mal soportado por la fauna terrícola (36).

La temperatura

Aunque a 50 cm de profundidad la temperatura del suelo tienda a estabilizarse, eso no resuelve mucho para los animales del suelo que, en su mayoría, viven hasta 20 o 30 cm de profundidad, porque necesitan oxígeno y materia orgánica. La elevación de la temperatura del suelo es mortal, ya que estos animalitos sólo están recubiertos por una finísima película, que no puede protegerlos contra la sequía. Toda la fauna edáfica depende de un cierto grado de humedad, de modo que cualquier temperatura que reseca la superficie del suelo, también la perjudica por ese motivo.

La luz y la insolación del suelo

La mayoría de los animales edáficos son antifototrópicos, es decir, no les hace bien la presencia de la luz. Si el suelo está compactado y desnudo, como ocurre muchas veces con el terreno agrícola, no hay dónde refugiarse y, por ello, mueren porque en su estado despigmentado no soportan la insolación directa.

Vale la regla que sólo los micro y mesoanimales pigmentados, que migran en la superficie del suelo, están protegidos de la exposición solar por algún tiempo.

La calidad del alimento

Todo lo que influye sobre el vegetal influye sobre la micro y mesofauna del suelo, como ser riqueza mineral, humedad, insolación, temperatura, plagas o defensivos, estructura del terreno con sus variaciones de oxígeno, compactación, etc. Y cada especie y variedad sabe aprovechar el suelo de manera diferente. Por lo tanto la vegetación de un lugar es uno de los medios a nuestro alcance para modificar la fauna del suelo (fig. 5-19). Así, por ejemplo, con un abono verde proliferan hongos que captan nematodes, pero también hongos patógenos. La paja en el suelo aumenta, por lo general, a los ácaros, hormigas y arañas, de modo que contribuye para la limpieza del terreno, eliminando innumerables anima-

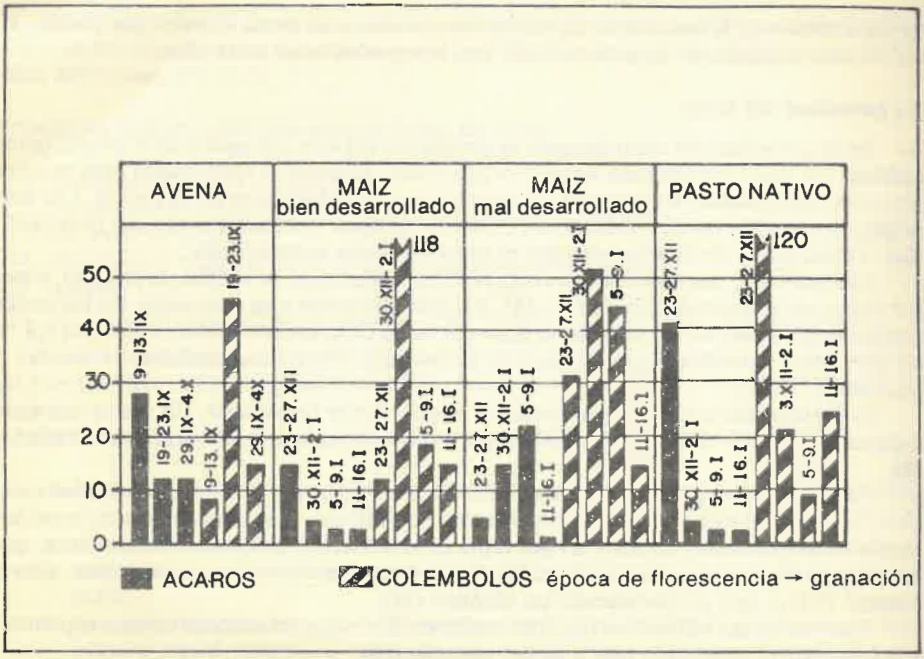


Fig. 5.19 *La población de la mesofauna relativa al desarrollo del cultivo (***Primavesi y Covolo,** *1968).*

les perjudiciales. Ciertos animales son sensibles a suelos muy ácidos y a la vegetación pobre en Ca y nitrógeno, y no es raro que tengan glándulas calcíferas, como las lombrices, ciempiés, y algunas larvas de dípteros, y de esta forma pueden enriquecer su alimento con calcio. Todos sabemos que la rotación de cultivos es el medio más eficaz de cambiar la fauna del suelo.

RELACION ENTRE LOS ANIMALES

El espacio donde vive un animal se modifica por su simple existencia, especialmente gracias a sus enzimas y deyecciones. Esta modificación por los más favorecidos beneficia o perjudica a otros, favoreciendo o limitando su proliferación. Si, por ejemplo, una especie animal es favorecida por la plantación de un monocultivo, ella modifica su ambiente de tal manera que imposibilita la vida de sus depredadores. Por lo tanto, se multiplica ilimitadamente al punto de tornarse plaga, como es el caso de ciertos nematodes. No poseen más enemigos, que fueron perjudicados seriamente por el labrado de la tierra y la plantación continua del mismo cultivo, siempre con las mismas excreciones radiculares. De esta manera se elimina el mecanismo de control automático del suelo.

Normalmente, la lucha por la sobrevivencia es dura. Las chances de nacer son pocas, porque muchos devoran los huevos de otras especies. Las posibilidades de llegar a adultos son mínimas, por la cantidad de depredadores de larvas pequeñas, y la gran cantidad de tóxicos que impiden la absorción de alimentos, o las enzimas que atacan hasta el propio metabolismo. Morir de viejo es imposible, no sólo por los depredadores, sino también por los "caníbales", como el nematode *Mononchus palpitatus* que diariamente puede comer hasta 83 larvitas del nematode de *Heterodera.*

La modificación del ambiente equivale, por lo antedicho, a la modificación de su equilibrio.

De lo ya expuesto quedó en claro que la menor variación en el suelo tiende a modificar forzosamente toda su vida, porque beneficia o perjudica a componentes de una sociedad establecida.

Cada arada es una revolución (12, 22). Penetra más aire, el terreno se seca, crecen otras bacterias que sustentan a otras amebas, otros hongos, otros animales. Gran parte de la población no soporta este tratamiento y, simplemente, desaparece.

Sigue la fertilización, el encalado, la plantación de un monocultivo, el escardado o herbicidas, insecticidas, irrigación. El suelo siempre se compacta con los cultivos o pastoreos, especialmente cuando está mal manejado. Se modifica la circulación de aire y agua, y se establece una nueva comunidad.

En el suelo normal, nativo, hay muchas especies y cada una con pocos individuos, porque existe una gran presión interespecie.

Pero, *en los suelos en condiciones extremas* (y el agrícola es considerado como tal por su monocultivo), *hay pocas especies y muchos individuos de cada una,* porque la presión interespecie es débil.

Las especies beneficiadas en general, completamente insignificantes en el sistema anterior, ahora son "creadas" por el hombre, inconscientemente, por supuesto. Y son habitualmente, animales que consiguen superar todas las dificultades causadas por el monocultivo y la compactación.

El monocultivo es el que crea los parásitos que lo aniquilan.

ANIMALES QUE PREDOMINAN EN SUELOS "TROPICALES"

Según **Bachelier** (1965), en los suelos tropicales, con sus elevadas temperaturas, predominan los insectos *Pterigotes*, como termitas, hormigas, larvas de *Coleópteros* (escarabajos) y *Dípteros*, como también nematodes. Por lo tanto, nematodes, insectos y hormigas cortadoras limitan la producción en zonas tropicales, en especial cuando están beneficiadas en demasía por técnicas agrícolas que ignoran su presencia hasta que se vuelven plagas.

CONTROL Y MANEJO DE LA FAUNA DEL SUELO

Todos los métodos denominados "de control biológico" son efectivos, pero dependen de investigaciones muy lentas, por lo común, imposibles de realizar a tiempo. Exigen, además, una verdadera "industria" de producción de enemigos naturales. Se crían machos estériles de insectos para evitar la fecundación de hembras, se inocula el terreno con hongos o insectos predadores, etc. Se sabe que la fusariosis (*Fusarium oxisporum var. cubana*), que causa el marchitamiento del banano, puede ser interrumpida por la secreción de un insecto (*Scaptocoris divergens*), que roe la raíz de la planta.

La podredumbre del tallo del arroz, causada por bacterias, disminuye radicalmente cuando la planta es atacada por nematodes, que aumentan su respiración, y con eso, su metabolismo (46). Existe un hongo patógeno, hostil a los nematodes, que se desarrolla en materia orgánica, y que se ve imposibilitado de desarrollarse cuando colémbolos defecan sobre la materia orgánica que él está descomponiendo. Son hechos que, de cierta manera, son interesantes para estudiar los comportamientos, pero que ayudan poco en el manejo general de la vida en el suelo.

Es un error considerar cada patógeno y cada plaga como un ser aislado, y combatirlo como tal. En realidad, *no existen seres aislados, existen sólo comunidades. Y la comunidad puede ser alterada por la modificación de cualquiera de los factores del medio ambiente. Lo que existe en el suelo son siempre equilibrios dinámicos,* y un equilibrio dinámico puede ser comparado a un mecanismo de reloj. Una pequeña rueda que se detiene, hace que todo

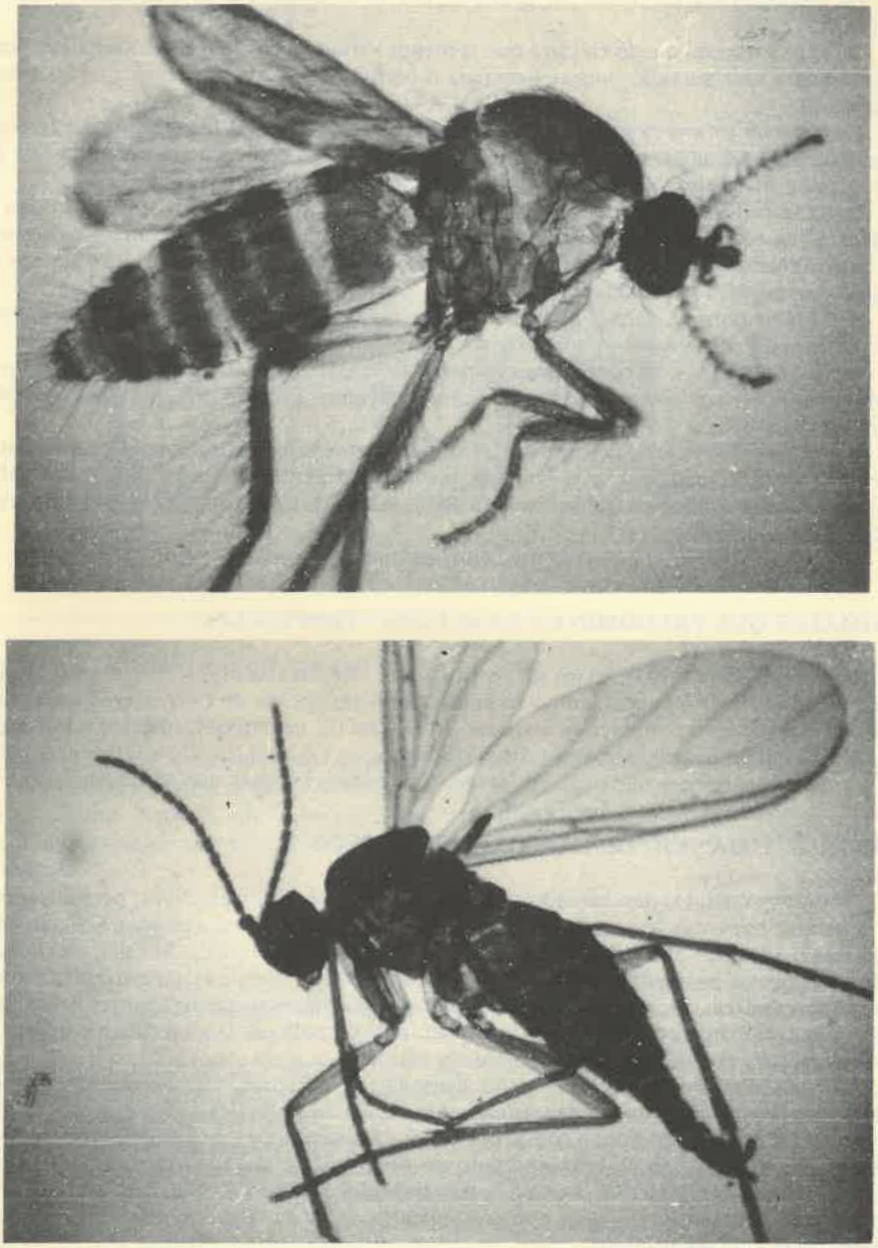


Fig. 5.20 *Mosquitos del suelo (tamaño natural 1mm).*

el mecanismo se detenga. Cualquier tornillo que se cambie, usando otro modelo, exige el cambio de todo el mecanismo, porque las piezas están exactamente calibradas unas con

otras, y si existe una diferencia dentro del esquema, el conjunto no funciona, pero sí se deteriora. Y con ello aumenta todavía más el problema.

Es lo que sucede en el suelo y que muchos de nosotros ignoramos, o simplemente no le prestamos la debida atención. Cuando surge un hongo patógeno o una plaga de insectos, la pregunta no debería ser: ¿cómo se mata este organismo? Deberíamos preguntarnos: *¿Cuál fue la condición ambiental que permitió su aparición incontrolada?*

Podemos creer que la culpa reside en las técnicas agrícolas empleadas arbitrariamente, destruyéndose así los equilibrios biológicos, ¡sin darnos cuenta de lo que está aconteciendo!

LA MATERIA ORGANICA EN EL CONTROL DE LOS ANIMALES DEL SUELO

Todos los animales del suelo, con excepción de los depredadores, aumentan la humificación del material orgánico, de modo que muchos autores piensan que sin animales no se forma humus. Parece que la actividad principal de la mesofauna está en la descomposición de la materia orgánica, su enriquecimiento con minerales, su transporte e íntima mezcla con el suelo mineral. Ya sea que ataquen las hojas o raíces muertas o vivan de las deyecciones de otros animales (38), siempre contribuyen a la humificación. De ello se deduce que la diversificación de la vida del suelo "manteniendo muchas especies con pocos ejemplares", está ligada a la cantidad de materia orgánica a disposición. *En los suelos deficientes en materia orgánica se crean condiciones de extrema excepción, donde la aparición de plagas es inminente.* Aquí se incluyen también las termitas, que a pesar de vivir exclusivamente de lignina y celulosa, no aprecian la materia orgánica humificada en el suelo; y existen algunas termitas como los *Cornitermes (Nasutitermita)*, que cuando encuentran humus en la superficie del suelo, lo destruyen. Las termitas, como se sabe, no son capaces de digerir lignina ni celulosa, y dependen de hongos y bacterias que las predigieren para ellas, existiendo hasta cultivos de hongos para descomponer la celulosa que les sirve de alimento (27).

Las condiciones aerobias del suelo, con materia orgánica descompuesta rápidamente por bacterias celulolíticas y amebas, como las *Cytophagas* asociadas con la *Colpodia sp.*, forman un ambiente en el que la mayoría de las termitas no puede vivir o sobrevivir.

Sabemos que la fauna del suelo se modifica rápidamente, de acuerdo a la materia orgánica que se le agrega al mismo (40). De modo que el mejor método para cambiar una asociación en el suelo es plantar un cultivo diferente e incorporar superficialmente sus rastrojos y su paja.

La rotación de cultivos, cuando está acompañada por la incorporación superficial de la paja, modifica rápidamente la fauna del suelo, reduciendo plagas y eliminando situaciones extremas. En el monocultivo este mecanismo no funciona. Aparte de influir sobre la fauna, es importante producir plantas de cultivos sanos. No es sana una planta cuyo crecimiento fue artificialmente aumentado por nitrógeno e irrigación. Sana es la planta que posee los elementos nutritivos que necesita para formar un máximo de sustancias que le son típicas. Incluyen, por lo tanto, junto al calcio, nitrógeno, fósforo y potasio, azufre y micronutrientes, y también exigen un suelo grumoso con suficiente aire y agua.

Ya en 1964, **Primavesi** constató que no hay enfermedad vegetal sin previa y determinada deficiencia mineral, lo que **Bachelier** (1965), **Bussler** (1966), **Braun** (1968), **Trolldenier** (1969) y muchos otros confirman. La planta biológicamente débil es la planta más sujeta a enfermedades y plagas. Los elementos calcio, potasio y fósforo contribuyen especialmente para la salud vegetal y el desarrollo de una fauna terrícola variada, a través de la mayor variedad de excreciones radiculares.

Como es deseable una recolonización variada lo más rápido posible, de los suelos agrícolas, es importante dejar fajas de vegetación nativa entre los campos, como refugio de comunidades silvestres de la macro y mesofauna, a fin de mantener la sanidad de los terrenos (15).

El calor, la luz y la sequía matan la vida del suelo, permitiendo la formación de condiciones extremas y, con ello, fomentando a las plagas. Las condiciones anaerobias perjudican a casi todas las especies benéficas de cultivos agrícolas y al suelo. Por lo tanto, la cobertura del suelo con un cultivo protector (*cover crop*) o, en épocas de sequía, con cobertura muerta (*mulch*), no sólo mantiene la estructura del suelo, sino también una vida benéfica en el mismo. Controla las bacterias mediante una drástica reducción por amebas; proporciona al mismo tiempo alimento a los hongos parásitos como los *Phycomycetos* que se alimentan de amebas, evitando que parasiten a las plantas (52).

Ciertos hongos controlan a los nematodes patógenos (16), como por ejemplo, los de avena y los del ananá; hay ácaros que controlan a los hongos y hormigas que controlan a los ácaros. El control, en suelos manejados adecuadamente, es eficiente. Como el monocultivo a veces no puede ser evitado, los cultivos consociados con leguminosas ya mejoran bastante el equilibrio biológico del suelo.

El control perfecto de plagas, sin embargo, sólo se consigue a través de la rotación concienzuda de los cultivos, que ya se tratará más adelante. El cambio de cultivos susceptibles a nematodes, por cultivos poco o en absoluto susceptibles, es un control eficaz de los nematodes. El maíz, el pasto pangola y la alfalfa son cultivos hostiles a la mayoría de los nematodes. **Primavesi** (1973) prueba también que la tolerancia de las plantas a las cargas elevadas de ciertos nematodes crece con la alimentación adecuada de éstas, de modo que pueden dar cosechas buenas a muy altas, a pesar de existir nematodes patógenos en el suelo.

En muchos casos, la acción de los nematodes se limita a pequeñas lesiones, pero que constituyen puertas abiertas a bacterias y hongos patógenos (13, 81). En estos casos, el problema no es tanto los nematodes, como sí los microorganismos patógenos, de modo que un control eficaz de hongos y bacterias por ácaros y amebas, evita tales perjuicios. Soja con más de 3.000 nematodes *Meloidogyne sp.* en 5 g de raíz fresca, todavía dio 5,1 t de grano por ha. El bagacillo de caña, vinaza* u otro material orgánico contribuye a combatir eficazmente a los nematodes, si no existen raíces parasitadas o muchos quistes en el suelo. Diez a quince t/ha de materia orgánica, como ser la paja dejada en el campo por un maizal bien desarrollado, provoca la aparición de organismos depredadores de nematodes, reduciendo su población a 1/10 en el trascurso de pocas semanas (63).

No obstante, entre los métodos que más benefician a una vida terrícola variada está la *no labranza*. En la *plantación directa* se evita no sólo remover la tierra, sino también la acción directa del sol y de la lluvia sobre el suelo desnudo. Este sistema es tratado en detalle en el capítulo 9.

Resumen

Se controlan las plagas creando condiciones adversas a su multiplicación. Rotación de cultivos, cultivos protectores (*cover crop*), sombreado del suelo con cobertura muerta en época de sequía, fertilizante fosfatado y encalado, suplemento adecuado con potasio, incorporación superficial de los restos de cultivos, son medidas capaces de controlar eficazmente bacterias, hongos, nematodes e insectos. Se debe tratar de conseguir un número grande de especies de seres vivos en el suelo con una cantidad de ejemplares reducida en cada una, evitando la proliferación de parásitas.

Cuando aparecen las plagas es porque el medio ambiente les es favorable. La modificación de este medio las hará desaparecer o, al menos, dificultará su multiplicación.

Cada ser que aparece espontáneamente, sea bacteria, hongo, micro, macro o mesofauna, o planta invasora, es la expresión del medio ambiente: un ecotipo.

No se combate la especie indeseada, pero se modifica el ambiente que la creó, de modo que éste se torne desfavorable para ella y más favorable al cultivo y a la multiplicación de

*Subproductos de la caña de azúcar. (*N.T.*)

otros seres vivos. Mientras no sea modificado el ambiente, la especie indeseada o nociva volverá, cada vez con formas más resistentes, ya que, según la ley de la naturaleza, es "dueña legítima" del suelo. Es el ecotipo. Es ilógico combatir a la especie, dejando las condiciones que la "crearon".

Para la fauna del suelo vale: *mejor manejar que querer exterminar.* Los defensivos son indispensables en la agricultura moderna, pero sólo en casos de emergencia, en que el manejo correcto del suelo falló.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Atlavinyté,** O. P. -1973- Distribution of earthworms, molusces and centipedes. *Lietvuv. T. S. R. MA darbai, Ser. 1 C, 1:61-80.*
2. - - - - - - - - -1973- The effect of earthworms and their biomass on the biological productivity of barley. *Lietvuv. T. S. R. MA darbai. Ser. 1 C, 1:81-94.*
3. - - - - - - - - -1973- Mobility of nutritive substances in relation to the density of earthworn numbers in the soil. *Pedobiologia, 13:5-15.*
4. **Bachelier,** G. -1963- La vie animal dans les sols. *O. R. S. T. O. M. Paris.*
5. - - - - - - - - -1973- Action de la faune du sol sur l'humification de materiaux vegetaux. *Rev. Ecol. Et. Biol. Sol, 10(4):453-74.*
6. **Balogh, J.** -1958- Lebensgemeinschaften der Landtiere. *Akademie-Verlag Berlin.*
7. **Bosse, I.** -1967- Wiederbelebung biologisch verarmter Weinbergböden, dargestellt am Beispiel des Regenwurmbesatzes. *Progr. Soil Biol. Holl. pp. 299-309.*
8. **Bouche, M. B.** -1973- Observation sur les lumbriciens. *Rev. Ecol. Biol. Sol, 10(3):307-16*
9. **Braun, A.** -1968- Praktische Bodenbiologie, *Fischer, Jena.*
10. **Bülow, J. F. von,** -1966- As ferrungens *(Puccina sorghi, P. polysora e Physopella zea)* do milho; II: Estudo comparativo e inimigos naturais. *Pesq. agropec. bras. 1:289-93.*
11. **Bussler,** W. -1968- Symptome und Symptom sequenzen bei Ernährungsstorungen von höheren Pflanzen. *Kali-Briefe, 2/3.*
12. **Castri,** F. di, -1968- Interferencia del hombre en los sistemas edaficos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp. 133-43.*
13. **Christie,** J. R. -1960- citado em **Sasser & Jenkins:** Nematology, *Univ. North Carolina Press.*
14. **Darbyshire,** J. F. -1972- Nitrogen fixation by *Azotobacter chroococcum* in the presence of *Colpodia steinii. MaCauly Inst. Aberdeen.*
14 a. **Delamare-Debutteville, Cl.** -1951- Microfaune du sol des pays temperés et tropicaux. *Act. Sci. et. Ind. Nº 1160. Hermann, Paris.*
15. **Deseö, K.** -1958- The importance of native vegetation strips for the biological balance of plowed land. *Acta. agron. Acad. Sci. Hungr. 8:77-101.*
16. **Duddington, G. L.** e **C. M. Dutchoit,** -1961- The controle of pathogen nematodes by some fungus. *Nature, 192(4800):315-17.*
17. - - - - - - - - -1955- Soil Zoology. *Butterworth, London.*
18. **Dunger, W.** -1971- Zur Sukzession von Bodentiergemeinschaften unter halbexperimentellen Bedingungen. *Lemnologica,* 8(2):540-41.
19. **Endo, B. Y.** e **J. H. Veech,** -1970- Morphology and biochemistry of soybean roots infected with *Heterodera glycines. Physiopath. 60(10):1493-98.*
20. **Florenzano,** G. -1972- Elementi di Microbiologia del terreno. *Ramo Editoriale Degli Agricoltori, Roma.*
21. **Franz,** H. -1953- Der Einfluss verschiedener Düngermassnahmen auf die Bodenfauna. *Angew. Pflanzensoz. XI:1-49.*
22. - - - - - - - - -1950- Bodenzoologie als Grundlage der Bodenpflege. *Parey, Berlin.*
23. **Ghilarov,** W. S. -1965- Zoologische Methoden der Bodendiagnose, *Nauka, Moskow.*
24. **Ghilarov,** W. S. -1972- Chemical Ecology (a review). *Ekologija, 1:110-12.*
25. - - - - - - - - - -, -1972- Problems of insect taxonomy and plant protection. *Zashita rastenii, 2:40-6.*
26. **Giesecke,** F. -1930- Subtropische Schwarzerden, citado em **Blank, F.** Handbuch der Bodenkunde, *Berlin, Vol. 6, pp 253-342.*

27. Grasse, P. P. -1959- Traité de Zoologie, *Masson, Paris.*
28. **Hijink,** M. J. -1967- Fruchtwechsel-Effekte und Nemathoden. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land u. Forstw. 121:21-28.*
29. - - - - - - - - e **R. W. Suatmadij.** -1967- Influence of different *Compositae* on populational density of *Pratylenchus penetrans* and some other root infesting nemathodes. *Neth. Z. Pl. Path. 73:71-82.*
30. - - - - - - - - e **M. Oostenbrink,** -1968- Vruchtwisseling ter Bestrijding van Planteziekten. *Medel. Plantenz. Dienst Wageningen, Sep. 368.*
31. **Hopp,** H. e **C. S. Slater,** -1948- citado em **Bachelier,** 1963, La vie animale dans les sols. *O. R. S. T. O. M. Paris.*
32. **Hryniuk,** J. -1965- Influence of namy years fertilization on the mesofauna in the soil. *Monogr. Biol. del Suelo (UNESCO), pp. 413-15.*
33. **Hyan, J.; W. L. K. Frederick** e **D.D.Norton,** -1972- Ecology of nematodes in Clarisson-Webster-Toposequence associated with *Glicine max. (L) Meriill. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(1):74-8.*
34. **Kevan, D. K. McE.** -1962- Soil Animals. *Witherby, London.*
35. - - - - - - - - -1965- Soil Zoology, *Butterworth, London.*
36. **Kühnelt, W.** -1965- Grundriss der Oekologie. *Fischer, Jena.*
37. **Kort, J.**-1969- Der Einfluss resistenter Kartoffeln auf Mischpopulationen von *Heterodera rostochiensis Woll. Mitt. Biol. Bundesanst. Land & Forstw. Berlin, 126:32-8.*
38. **Kurcheva, G. F.** -1960- Pochvov. 4:16-23, citado em **Bachelier,** 1963, La vie animale dans les sols. *O. R. S. T. O. M. Paris.*
39. **Lee, R. E.** e **T. G. Wood.** -1971- Physical and chemical effects of soil on some australian termites and their pedological signification. *Pedobiologia, 11(8):376-409.*
40. **Levieux, J.** -1973- Études du peuplement en fourmis terricole d'une savanne pré-forestière de côte d'Ivoire. *Rev. Ecol.·Biol. Sol. 10(3):379-428*
41. **MacFadyen, A.** -1972- Faune du sol e processus de la decomposition. *Seminaire de Louvain, Belgique.*
42. **Madge, D. S.** -1969- Litter disappearance in forest savana. *Pedobiologia, 9:288-299.*
43. **Maldague, M. F.** -1961- Relation entre le couvert vegetal et la microfaune. *Publ. Inst. nat. agron. Congo. Serie Scient. 90:122-5.*
44. **Marcuzzi, G.** -1968- Ecologia Animale. *Feltrinelli, Milano.*
45. **Neumann, V.** -1971- Die Sukzessionen der Bodenfauna in den forstlich kultivierten Gebieten des rheinischen Braunkohlenreviers. *Pedobiologia, 11(3):193-225.*
46. **Nonaka, F.** -1959- Relation between nematode attack and plant respiration. *Scient. Bull. Fac. Agric. Kyosho Univ. XVII (1):1-8.*
47. **O'Bannon, J. H.** e **H. W. Reynolds,** -1965- Water consume and growth of cotton plants infested or not with root nodulating nematodes. *Soil Sci. 99:251-55.*
48. **Oostenbrink, M.** -1968- Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Sympos. Nematologie, Leiden, (1965) pp 8-10.*
49. **Pauli, F. W.** -1967 - Soil Fertility, *Hilger, London.*
50. **Piearce, T. K. Jakubczyk e Z. Wojcik,** -1973- Influence de fourmis sur la modification des sols e des plants dans le milieu de prairies. *Proc. Meth. and Study in soil Ecol. UNESCO.*
51. - - - - - - - - -1973- The calcium relation of selected *Lumbricidae. J. anim. ecol. 41:*
52. **Pochon, J.** e **H. De Barjac,** -1958- Traité de Microbiologie du sol. *Masson, Paris.*
53. **Primavesi, A. M.** e **G. Covolo,** -1968- Comparação de atividade dos cupins *(Termitidae)* e minhocas com relação a estrutura e nutrientes do solo. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 149-54.*
54. - - - - - - - - e - - - - - - - - -1968- Efeitos de diferentes adubos orgânicos sobre a mesofauna do solo. *Progr. Biodim. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 261-68.*
55. - - - - - - - - e - - - - - - - - -1968- Influência da cultura sobre a população da mesofauna. *Progr. BIodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 263-68.*
56. - - - - - - - - -1973- Melhoramento na produtividade do solo por bactérias celulolíticas. *Relatório ao CNPq.*
57. - - - - - - - - - e **G. Covolo,** -1970- Ensaios com o "método Vassallo" para o combate de nematóides em solos da Depressão Central do RGS. XII *congr. bras. ciência solo, Curitiba.*
58. - - - - - - - - e **A. Primavesi,** -1973- Beziehungen zwischen Düngung und Nematodenbe-

fall and dessen Einfluss auf den Ertrag von Mais und Sojabohnen. *Agrochimica, XVII (6): 511-19.*

59. **Rapoport, E. H.** -1959- Alguns aspectos de la biologia del suelo. *Univ. Nac. del Sur, Bahia Blanca. Argent.*
60. - - - - - - - - -1968- La fauna edafica y sus aplicaciones en la caracterización de los suelos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 155-74.*
61. **Rhode, R. A.** -1960- citado em **Sasser & Jenkins,** *Nematology, pp 447-53.*
62. - - - - - - - - -1971- Der Einfluss verschiedener Temperaturen und Wechselreize auf das Schlüpfen von Larven der Kartoffelnematoden. *Pedobiologia, 11:143-58.*
63. **Russell E. W.** -1961- Soil Conditions and plant growth. *9 ed Longmanns & Green, London.*
64. **Samedov, N. G. L. A. Bababekova e F. K. Rasulova,** -1971- Pedozoologische Analysen von verschiedenen Böden der Mungo-Milskaja Steppen, Azerbaidjan. *Pedobiologia, 12:2-11.*
65. **Sasser, J. e W. R. Jenkins,** -1960- Nematology, *Univ. North Carolina Press.*
66. **Satchell, J. E.** -1958- Earthworn biology and soil fertility. *Soil & Fertilizer, 21 (4):209-19.*
67. **Schuster, R.** -1966- *Scydmaeniden* Larven als Milbenräuber. *Naturwiss. 53 (17):439-40.*
68. **Schwerdtle, F.** -1969- Untersuchungen zur Populationsdichte von Regenwürmern bei herkömmlicher Bodenbearbeitung und Direktsaat. (Sodseeding). *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch. 76 (11-12):635-41.*
69. **Shapiro, J.** -1973- Blue green algae: Why they become dominant. *Sci. 179 (40): 382-84.*
70. **Sharma, R. D.** -1968- Host suitability of a number of plants for the nematode *Tylenchorhynchus dubius. Neth. J. Plant Path. 74:97-100.*
71. **Simon, H. R.** -1964- Zur Ernahrungsbiologie Collembolenfangender Athropoden. *Biol. Zentr. bl. 83 (3):273-96.*
72. **Suatmadij, R. W.** -1967- Studies on the effect of *Tagetes especies* on plant parasitic nematodes. *Veeman & Zonen, Wageningen.*
73. **Törne, E. V.** -1963- Indirekter Nachweis von Elektivwirkung mineralischer Dünger auf die Mikroflora. *Zbl. f. Bakter. Paras. Infekt und Hig. II. Abt. 11:681-88.*
74. **VanRee, J. A. e S. Nathans,** -1973- Ecological aspects of earthworn populations in relation to wather conditions. *Rev. Ecol. Biol. Sol. 10 (4):523-34.*
75. **Waksman, S. A.** -1952- Principles of Soil Microbiology. *2 ed William & Wilkins, Baltimore.*
76. **Wiececk, C. S. e A. S. Messinger,** -1972- Calcite contribution by earthworms to forest soils in northern Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 (3):478-80.*
77. **Wilke, D. E.** -1964- Untersuchungen über den Einfluss von Bodenverschiedenheiten auf das tierische Edaphon. *Z. Acker & Pflanzenb.118:1-44.*
78. **Winchester, J. A.** -1968- Plant parasitic nematodes of three widely separated areas in the american tropical rain forest. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 185-87*
79. **Wood, T. G. e K. E. Lee.** -1971- Termite and Soils. *Academic Press, London.*
80. **Yeats, G. W.** -1971- Feeding types and feeding groups in plant and soil nematodes. *Pedobiologia, 11:173-79.*

Capítulo 6

LA MICROBIOLOGIA DEL SUELO

Toda la vida terrestre se basa en el hecho de que la planta verde es capaz de formar azúcares, almidones, proteínas y grasas a partir de agua, gas carbónico y minerales, en presencia de luz.

Estas sustancias sirven de alimento a los animales y al hombre. Pero si no hubiese la posterior destrucción de esas sustancias vegetales y animales, cantidades de plantas y animales muertos cubrirían la Tierra y saturarían los mares, terminando con toda posibilidad de continuar la vida.

Para que lo que está muerto sea quitado del medio y el mundo permanezca tan limpio como en el primer día, existen los microorganismos, que descomponen las sustancias orgánicas en sus componentes básicos: agua, gas carbónico y minerales. Sólo la energía no vuelve nunca más a ser luz, y se pierde en el espacio en forma de calor (fig. 6-1).

De modo que la planta verde está formada por las sustancias H_2O (agua), CO_2 (gas carbónico) y minerales en presencia de luz, y los microorganismos la descomponen nuevamente en H_2O, CO_2, minerales y calor. ¡Y la vida puede reiniciar su ciclo!

Este proceso que garantiza la continuidad de la vida es tan discreto que es ejecutado por seres microscópicos, invisibles al ojo humano, sólo perceptibles a través de microscopios bien potentes, con un aumento mínimo de 800 a 1.200 veces (145).

Los microorganismos existen en cantidades increíblemente grandes. En una cuchara de té de tierra encontramos 100 a 200 millones de microbios. Ocupan 0,05 % del suelo y pesan aproximadamente de 1,6 t/ha (46) a 5,7 t/ha, considerándose un total de 3.000 t de tierra agrícola por ha. Compensan su tamaño con su número y también con la rapidez de su reproducción. En un período de 30 minutos a 2 horas se forma una nueva generación, de manera que en un día pueden nacer de 12 a 48 generaciones, lo que en términos humanos llevaría de 3 a 12 siglos (155). La velocidad de multiplicación depende, en parte, de la especie, pero principalmente, de las condiciones del medio en que viven. Las temperaturas elevadas, alrededor de 25° a 30° C, la riqueza en minerales, la suficiente humedad y materia orgánica, hacen que estos microorganismos se multipliquen con increíble rapidez (99).

COMO SE ALIMENTAN LOS MICROORGANISMOS

Los microorganismos pertenecen a la vida más primitiva que se conoce y todo su cuerpo está formado por una única célula. No tienen boca ni intestinos, y todo lo que ingieren pasa a través de la pared de su citoplasma. Cuando encuentran un medio adecuado con los alimentos que les agradan, los esporos o las células traídos por el viento, comienzan a proliferar. Excretan enzimas y digieren su alimento fuera de la célula (117). Sólo cuando las sustancias fueron digeridas y disueltas, pueden absorberlas a través de la membrana finísima que los separa del medio ambiente.

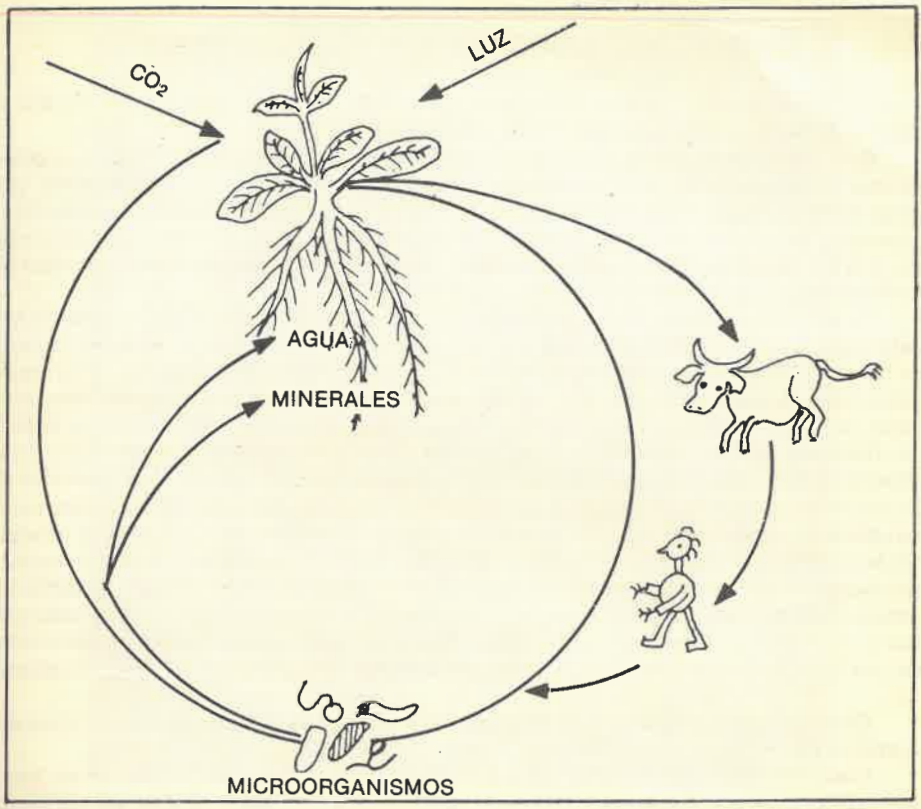
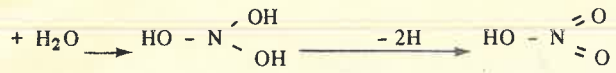


Fig. 6.1 *Formación y descomposición de material orgánico en el eterno ciclo vital.*

La mayoría de las bacterias posee solamente una, a lo sumo tres enzimas (111). Los hongos y los actinomicetos pueden poseer más. Por eso las bacterias se ven forzadas a trabajar en equipo, como los obreros en una línea de montaje. Con cada enzima se consigue catalizar sólo *un único proceso* bioquímico de descomposición, y que consiste en juntar un ion de oxígeno (oxidación), o sustraer un ion de hidrógeno de la unión de dos moléculas orgánicas. Toda descomposición es una secuencia de oxidaciones y reducciones de una sustancia orgánica hasta conseguir agua y gas carbónico. A veces toman su energía de la modificación de la electrovalencia de un metal, durante el proceso de oxidación o reducción, pero generalmente la toman del carbono de la materia orgánica. Algunas algas, las clorofílicas, y las bacterias fotosintéticas son independientes, captando su carbono del aire, y su energía de la luz solar (79, 157).

Por ejemplo, en la transformación de amoníaco en nitrato:

$$\underset{\text{amoníaco}}{\overset{\overset{H}{|}}{N-H}\overset{|}{\underset{H}{|}}} \xrightarrow{+\,1/2\,O_2} \underset{\text{(hidroxilamina)}}{HO-NH_2} \xrightarrow[\text{de } 2(HONH_2)]{-\,2H} \underset{\text{(hiponitrito)}}{HO-N=N-OH} \xrightarrow{+1/2\,O_2} \underset{\text{(nitrito)}}{HO-N=O} \rightarrow$$



Para cada proceso, que es presentado por una flecha, explicando lo que se junta o sustrae, se necesita otro organismo y otra enzima.

Son, por lo tanto, varios los microorganismos que desencadenan este proceso, y si falta uno, el proceso no se termina. En esta oxidación gradual, el nitrógeno trivalente, con carga eléctrica negativa, se transforma en nitrógeno con cinco electrovalencias positivas. Entonces, los microbios toman la energía de la transferencia de los electrones. Sea cual fuere la forma por la cual los microorganismos se apoderan de energía, todos necesitan de minerales que precisan disolver para poder absorber.

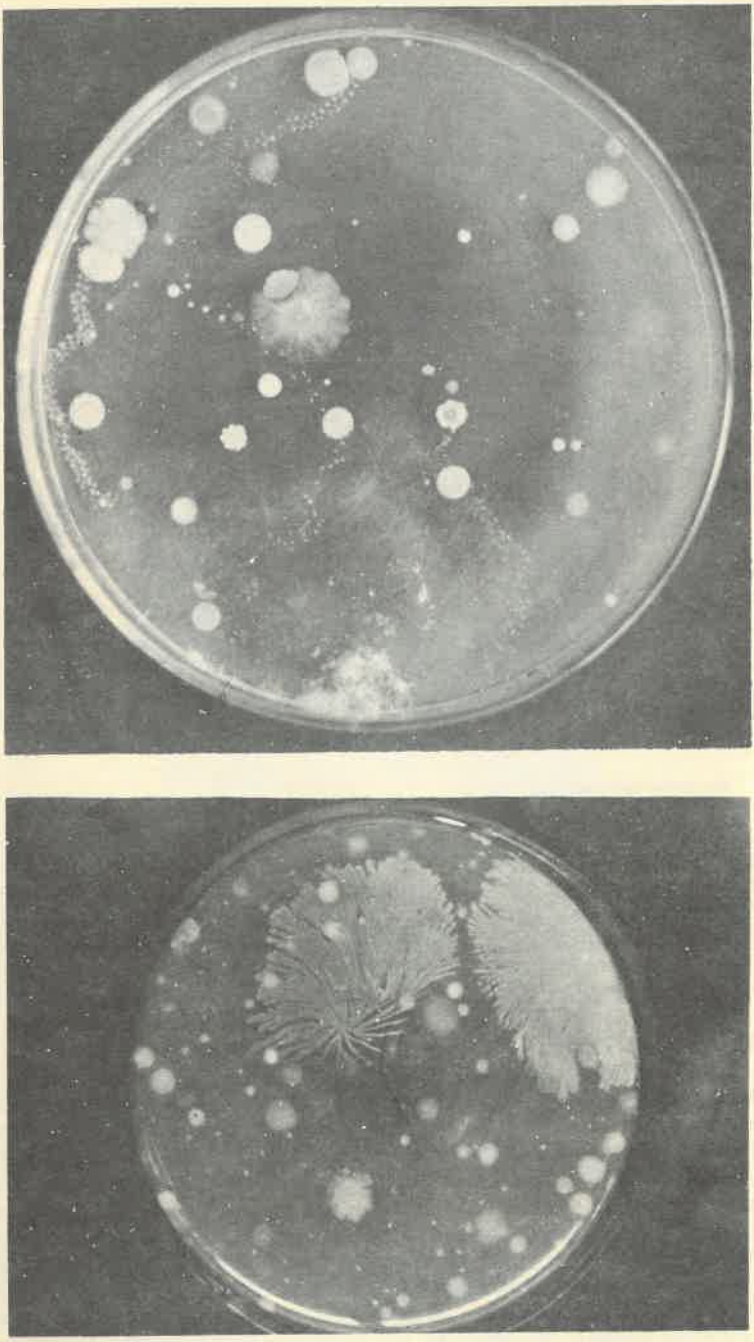
La mayoría de los organismos importantes para los cultivos y los suelos de clima tropical y subtropical, dependen de la materia orgánica, sea en forma de hojas muertas de paja, de raíces, de estiércol de ganado o deyecciones de la mesofauna del suelo, sea en forma de excreciones radiculares, que incluyen un sinnúmero de sustancias, como aminoácidos, azúcares, enzimas, hormonas y muchos ácidos orgánicos, como ácido málico, láctico, tartárico, fumárico, cítrico y otros (121, 122). Pero debemos estar siempre al tanto de que *cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es sólo una etapa en el camino de la descomposición* (132). Según sean la sustancia original y la aireación del ambiente, así se establecerán las distintas especies de microorganismos, proporcionando distintos productos intermediarios. También los que fermentan el pan no hacen nada más que descomponer almidones, o los que producen vinagre, alcohol o vino descomponen azúcares en ambiente aerobio o anaerobio. La producción de queso, cerveza o tantas otras cosas, no es nada más que el producto intermediario de un proceso de descomposición interrumpido a cierta altura, por falta de microorganismos para continuarlo; proceso que es utilizado industrialmente.

Ellos no forman colonias visibles, pero disuelven la capa de calcio que cubre el medio nutritivo (fig. 6-4).

Como los microorganismos del suelo necesitan digerir su alimentación fuera de su "cuerpo", para poder absorberla, excretan sus enzimas en el suelo. Aun la fijación del nitrógeno atmosférico es sólo un recurso para obtener el nitrógeno necesario para la descomposición de alcoholes y ácidos orgánicos, y la formación temporaria de proteína celular.

Por lo tanto, el suelo está lleno de enzimas como catalasas, ureasa, celobiasa, peptasa, etc., que oxidan e hidrolizan la materia orgánica en todas sus formas, a fin de prepararla como alimento para esta o aquella especie de microseres. Hablamos, pues, del *"potencial enzimático" de un suelo (9), como expresión de su actividad* microorgánica, lo que es mucho más correcto que la enumeración de gérmenes, ya que en un medio nutritivo nace todo, aun los gérmenes inactivos en el suelo. Cada vez con mayor intensidad, todos los países realizan investigaciones enzimológicas del suelo. Cuanto mayor se torna ese potencial, tanto más fácil se vuelve la nutrición vegetal, porque los microorganismos solubilizan muchas sustancias, que también la planta puede aprovechar directamente antes de que el microbio las absorba.

No sólo las plantas pueden aprovechar los productos intermediarios de la descomposición, también otros microorganismos compiten por ellos. Así los microseres defienden su alimento y su espacio vital, por medio de toxinas, que son los tan conocidos antibióticos (157). Estos antibióticos son tóxicos para determinados organismos, es decir, para los que poseen hábitos alimentarios parecidos. Para otros, son inofensivos y hasta pueden ser utilizados como alimento. Hay organismos que pueden inactivar los antibióticos por medio de sustancias "desintoxicantes", que probablemente los oxidan y con ello los desdoblan en sustancias inofensivas (9). Y para que las bacterias se mantengan activas existen las amebas que las "nutren". Sin embargo, devoran solamente las viejas, débiles y enfermas, cuya actividad enzimática disminuyó.



Figs. 6.2 y 6.3 *Bacterias proteolíticas, activas en la descomposición de proteínas.*

Fig. 6.4 *Bacterias nitrificantes.*

Como sólo una finísima película separa el microorganismo del medio ambiente, y muchos procesos vitales ocurren fuera de su "cuerpo", las sustancias excretadas en el suelo ejercen influencia muy fuerte sobre otros microorganismos allí existentes (27). Así, ellos pueden beneficiarse mutuamente (sinergismo), como por ejemplo la ameba *Colpodia steinii* y la bacteria *Arthrobacter* (32), o el fijador de nitrógeno atmosférico *Azotobacter chroococcum*. Ellos pueden ser indiferentes unos a los otros, o pueden perjudicarse seriamente (antagonismo), como el *Azotobacter* en presencia de hongos de la especie *Penicillium* (92, 143, 144). Pero el *Azotobacter*, a su vez, activa el *Bac. megatherium* y suprime el hongo *Aspergillus niger* (73).

Schlegel (1968) habla de una *"ectoinducción" de la actividad bacteriana*, por sustancias presentes en el suelo, ya sea por excreciones microorgánicas o vegetales. Esta ectoinducción llega a tal punto que hasta la producción de enzimas, en la propia célula del microorganismo se modifica por la presencia de otros organismos y, por lo tanto, de otra enzima en el suelo, alterando todo su funcionamiento. Algunas pueden adaptarse, debido a la rápida secuencia de generaciones, y un ejemplo es la aparición de bacterias moduladoras en suelos donde no existían, pero donde se plantó leguminosas. Es decir, las bacterias del suelo se acostumbran a la vida más fácil como simbiontes de la raíz, de modo que algunos autores (62, 78, 106, 136) piensan que las rizobacterias son nada más que *Azotobacter, Actinomyces* y otros fijadores de nitrógeno, que se adaptaron a las excreciones de la leguminosa, invadiendo finalmente la raíz.

Fig. 6.5 *Euglenia, ameba clorofilada, todavía vegetal, pero también animal en estado activo y de reposo (aumento 4.000 x).*

Fig. 6.6 *Ameba atacada por bacterias, en plena descomposición (aumento 4.000 x).*

INFLUENCIA DEL SUELO SOBRE LA ACTIVIDAD MICROORGANICA

La cantidad de enzimas en el suelo sería incontrolable si no existiese un equilibrio delicado entre ellas y la fase coloidal del suelo, pudiendo los coloides ser tanto de origen mineral (arcilla) como orgánico (humus) (58).

Fig. 6.7 *Hongo del suelo, en este caso un* Penicillium *(aumento 800 x).*

El coloide puede absorber la enzima, activándola o inactivándola a través de los iones absorbidos en su superficie. Sabemos que los iones metálicos se ligan como *constituyentes* o *activadores* a los grupos prostéticos de la enzima, ya que ninguna enzima puede reaccionar sin un ion metálico que le sea específico.

Muchas toxinas y muchas enzimas pueden ser retiradas de circulación, simplemente a través de la absorción por el complejo coloidal (9). Las enzimas necesitan no sólo una temperatura específica para su actividad (que para la mayoría de las bacterias del suelo es entre 25° y 32° C), sino también en especial, de una faja muy estrecha de pH. Cada enzima tiene su pH óptimo en que alcanza la mayor velocidad de reacción. Fuera de este pH, los procesos químicos ocurren muy lentamente. Por lo tanto pueden existir las bacterias y las enzimas en el suelo, pero si el pH es inadecuado, estarán prácticamente inactivas (fig. 6-8). La manera más fácil de influir sobre los microorganismos del suelo es modificando el pH, lo que se consigue con el encalado, fertilización mineral y fertilización orgánica. Pero también se modifica la microflora modificando las excreciones radiculares (fertilización y rotación de cultivos), que tanto influyen en modo directo sobre las bacterias como indirectamente por modificar las excreciones en el suelo, y con esto, el substrato "receptor" de las enzimas.

MICROORGANISMOS DEL SUELO TROPICAL

Los microorganismos del suelo pueden ser nuestros aliados si sabemos manejarlos, pero también pueden ser nuestros enemigos más inflexibles si sólo sabemos combatirlos. Debe quedar en claro que un combate con éxito es casi imposible, ya que esto no depende tanto de la presencia del organismo, sino del medio ambiente y de las condiciones favorables que el suelo le ofrece, permitiendo la reinstalación del mismo. Ya **Pasteur** reconoció eso cuando dijo: "¡Claude Bernard tenía razón, el microbio no es nada, el ambiente es todo!".

La proliferación de los microorganismos está limitada por el pH, la riqueza mineral

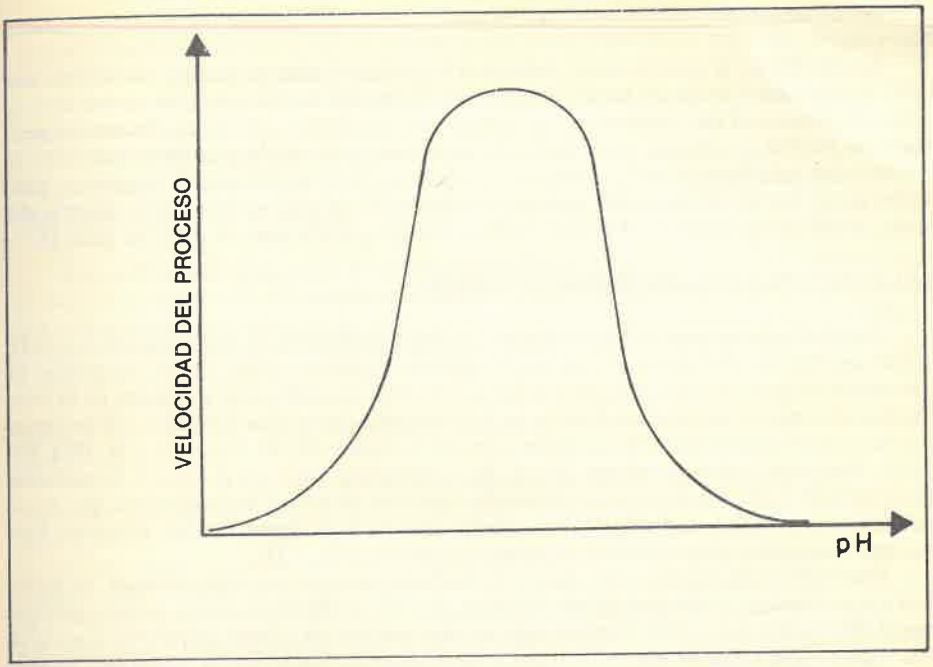


Fig. 6.8 *Velocidad del proceso bioquímico, catalizado por enzimas, dependiente del pH del substrato (***Müller,** *1973).*

del suelo, la especie de la materia orgánica, la temperatura y la humedad. En suelos con temperaturas por encima de los 20° C, como en los climas tropical y subtropical, predominan las bacterias, habiendo menos hongos y actinomicetos. Las bacterias, sin embargo, son extremadamente activas en la descomposición de materia orgánica, no permitiendo la acumulación de humus. Por eso no se acumula materia orgánica en tierras tropicales como ocurre en climas templados. Sólo en altitudes sobre los 1.000 m, donde las temperaturas son más bajas y predominan los hongos, que son descomponentes muy lentos, hay formación de humus en mayor cantidad (45, 80). El humus se forma casi exclusivamente por la acción de hongos y actinomicetos, y nunca de bacterias. Las bacterias necesitan una humedad elevada del aire del suelo, que debe ser alrededor del 98 % (93), y que ocurre con una humedad entre 50 y 75 % de la capacidad de retención de agua del suelo. Los hongos, pero principalmente los actinomicetos, pueden crecer en suelos bastante más secos, con una saturación de humedad del aire del suelo de 85 a 98 %. Pero tanto los hongos como los actinomicetos necesitan una aireación suficiente, y el aumento de la humedad siempre corre por cuenta de la aireación. De modo que en los suelos mal aireados predominan las bacterias anaerobias, desapareciendo las aerobias. El aireamiento del suelo estimula tanto los hongos como las bacterias aerobias (21).

Aunque los investigadores europeos y norteamericanos indiquen la faja de 6,5 a 7,0 como el mejor pH para las bacterias aerobias útiles, esto no es correcto con referencia a los suelos tropicales, pareciendo que la actividad de las enzimas sufrió la adaptación a los suelos ácidos tropicales, donde la temperatura las activa (159). Así, **Bezerra** (1969) y **Döbereiner** (1953) encontraron *Azotobacter* en suelos con pH hasta de 4,5, a pesar de ser considerado como propio de suelos con pH 7,0; y **Allison** (1947) aisló hasta *Azotobacter* calciófobos de suelos tropicales. Estas, sin embargo, son excepciones que suceden sólo en un

2 % de los suelos (67), siendo aquí mucho más frecuente la fijación por bacterias anaerobias (46).

Aparte de eso, el suelo no es un substrato homogéneo, sino un sistema de *micronichos* (107) donde cada uno posee su pH propio y en los cuales las bacterias, en suelos ácidos, tienen la capacidad de "alcalinizar" el medio a su alrededor, por medio de excreciones. Hasta es posible determinar si las bacterias necesitan un encalado para prosperar (97). Si las bacterias acidifican el medio, precisan de encalado, si lo alcalinizan, lo dispensan, pues no les gusta. En los *micronichos*, que son cavidades minúsculas en los propios grumos del suelo, el pH puede estar 2 a 3 grados encima del pH medido para el suelo en general.

RELACION PLANTA-MICROORGANISMOS

Durante toda su vida la planta vive en íntima relación con los microorganismos (18). Todas las plantas, con excepción de las *Crucíferas* y *Liliáceas* (134), tienen micorrizas en sus raíces, es decir, hongos que las ayudan a movilizar los nutrientes alrededor de la raíz. Muchas plantas, en especial los árboles de leguminosas, tienen una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno tanto en las raíces como en las hojas (70, 86, 124, 125, 126, 152). Pero esa relación no necesita ser tan íntima. En la rizosfera, o sea, en el espacio densamente enraizado del suelo, existe un gran número de bacterias, hongos y actinomicetos, que aprovechan las excreciones radiculares de la planta, que incluyen aminoácidos, azúcares, hormonas, vitaminas y gran cantidad de ácidos orgánicos (121, 122).

Estas sustancias sirven como fuente de carbono para los microorganismos, es decir, energía; en cambio, defienden el espacio de la raíz con antibióticos contra agentes patógenos (119), no porque cuiden la salud vegetal, sino porque no quieren compartir con otros esta fuente segura de alimento (57). Cuanto mejor nutrida está la planta, tanto más intensa es la microvida en la zona de su raíz, y tanto más garantida está la planta contra pestes (85). Debemos advertir aquí, nuevamente, que una buena nutrición no es simplemente la nutrición con nitrógeno, que puede provocar un crecimiento exuberante, pero poco saludable. En este caso, las excreciones radiculares no serán variadas, y por lo mismo, la vida en la rizosfera tampoco lo será. Por otro lado, como la vida en la rizosfera depende de la nutrición de la planta, es posible modificar esta nutrición a través, por ejemplo, de fertilización foliar, y modificar con eso todo lo que se vive en el espacio de la raíz (64, 154, 156). La relación microorganismos-planta depende de las condiciones de la planta. Si ésta está bien nutrida y crece fuerte y sana, los microorganismos la benefician y la defienden. Si la planta está mal nutrida, luchando por su sobrevivencia, los microorganismos patógenos pueden llegar hasta su raíz y atacarla (57, 129).

En toda la naturaleza vale la sabiduría bíblica: "Del pobre será tomado hasta lo último, y al rico le será dado por añadidura". Eso significa que, si algún suelo es pobre, las plantas estarán mal nutridas y su microvida radicular será unilateral, las pestes la atacarán y lo poco que se coseche será de calidad inferior, muchas veces no comerciable. Si hay un desequilibrio mineral, la planta no está biológicamente completa y con ello es más fácil que sea atacada por plagas. El defensivo permite salvar el cultivo y hasta proporcionar una buena cosecha, pero nunca consigue devolver al producto su valor biológico característico.

Por el contrario, si el suelo es rico en nutrientes y materia orgánica, las plantas prosperarán, la microvida mejorará, las cosechas serán abundantes y de buena calidad, y nada podrá perjudicarlas seriamente. Así, aun las infecciones vasculares, como la causada por *Pseudomonas solanacearum* en el tabaco, no les causarán ningún daño, sino que, al contrario, todavía aumentarán la síntesis de aminoácidos aromáticos (210), simplemente por el hecho de que casi todos los parásitos "inyectan" sustancias en la planta que aumentan el metabolismo para conseguir más de las sustancias que buscan.

El problema de la salud vegetal ya comienza con la germinación de la semilla. Si la semilla está bien nutrida y bien provista de carbohidratos, la germinación será rápida y la microvida a su alrededor, compuesta de varios hongos como *Penicillium, Aspergillus* y

otros (147) y bacterias, la beneficiará acelerando su germinación. Pero cuando la semilla está mal nutrida y pobre en carbohidratos, los microorganismos la atacarán, haciendo que se pudra en el suelo y no pueda nacer.

Muchos creen que los hongos siempre son perjudiciales cuando atacan la raíz vegetal. Pero existen hongos que hasta viven en simbiosis con las raíces, beneficiando a las plantas. Estos hongos son los micorrizas.

MICORRIZAS Y SU MANEJO

La palabra micorriza viene de las radicales *Mycò* = hongo y *rhiz*, que es concerniente a la raíz. Si el suelo está suficientemente aireado y las plantas son razonablemente fuertes, sus raíces estarán pobladas por hongos, los micorrizas, que prácticamente todas las plantas poseen a excepción de las *Crucíferas,* a las cuales pertenece el repollo, y las *Liliáceas*, a las cuales pertenecen la cebolla y el ajo (29, 69, 134).

El papel de los hongos en la tierra parece bastante desfigurado. Se habla de ellos sólo cuando son parásitos, pero raramente se considera su acción benéfica como saprófitas y simbiontes (29, 33).

Actualmente se sabe que la rizosfera vegetal está densamente poblada por hongos y bacterias, aprovechando las excreciones radiculares, que varían de azúcares y aminoácidos, ácidos orgánicos y nucleotídeos hasta enzimas, vitaminas y sustancias de crecimiento e inhibición (7, 88, 133, 118, 146, 164). Con la disminución del pH del suelo aumenta la flora fúngica (161). Existe así un efecto altamente selectivo sobre los microorganismos en general, y los hongos en particular. Los hongos, a su vez, movilizan nutrientes minerales hacia las plantas, aumenta la posibilidad de retirar agua del suelo, fijan nitrógeno y defienden la rizosfera por medio de antibióticos (88), siendo los micorrizas los más eficientes.

La flora fúngica, a ejemplo de la bacteriana, puede llegar hasta la simbiosis con las raíces. Los hongos siempre son más frecuentes en suelos vírgenes que en los cultivados, donde normalmente predominan las bacterias (51). Son más frecuentes en no leguminosas que en leguminosas, por ser ávidos de azúcares y no apreciar mucho los aminoácidos excretados por estos vegetales (24, 50, 98, 146). Sobrevienen tanto en plantas arbóreas como en herbáceas, perennes o anuales. Antiguamente se pensaba que fuesen privativos de los *Pinus* (61), pero hoy se sabe que prácticamente no existe planta alguna que no consiga entrar en simbiosis con hongos, inclusive el cafeto.

La vida de la rizosfera, simbiótica o asimbiótica, depende de la intensidad del crecimiento de la planta hospedante (59), mientras que en plantas arbóreas depende del estado del desarrollo estacional. La "película" de microorganismos que envuelve a la raíz puede alcanzar hasta la espesura de 5 mm (25), siendo su número hasta setenta y una veces mayor que la de los organismos del suelo (146).

Con la disminución del pH del suelo aumenta el número de hongos en la rizosfera (161). Toda fertilización que estimula el crecimiento vegetal estimula igualmente el crecimiento y la multiplicación de los hongos, siendo la fertilización fosfórica la más benéfica (90). Ningún hongo de la rizosfera es capaz de descomponer lignina y celulosa, y difícilmente puede utilizar almidones. Son especializados en azúcares (49), generalmente de fórmula simple, como glucosa o ésteres como manita y, a veces, descomponen aminoácidos (61, 76), lo que le dio el nombre de "sugar fungi". También el *Azotobacter* y otros fijadores de nitrógeno son mucho más frecuentes en la rizosfera que en el suelo no enraizado, especialmente cuando éste es pobre (142). La razón es que aquí encuentran con mayor facilidad manita y alcoholes, que necesitan para su metabolismo (75, 95, 139).

Las raíces de árboles y plantas herbáceas no leguminosas son mucho más ricas en hongos, pudiendo hospedar hasta 40 especies diferentes. Las raíces de leguminosas atraen más bacterias (24, 98, 146). Sin embargo, la flora microbiana de la rizosfera representa un sistema cambiante, válido solamente para determinado espacio de tiempo, mudando con la estación del año, el desarrollo vegetal y las condiciones del suelo (55, 83).

Tanto plantas como hongos excretan sustancias de crecimiento e inhibición, que controlan la microflora en la rizosfera (7, 87, 133, 164). Los hongos todavía producen *bacteriostatos*, para garantir la fuente de su sustento: la raíz. Pero el hongo va más allá: entra en simbiosis con la propia raíz, por lo que es llamado *micorriza*. Para que esto se produzca, la raíz excreta carbohidratos que atraen hongos a la rizosfera (118), y en seguida hormonas, que incentivan la penetración del hongo en la raíz (49). La infección simbiótica es mayor en suelos arenosos, pobres en materia orgánica, donde la vida saprófita de los hongos se torna difícil (46). La simbiosis se ve favorecida por la pobreza mineral del terreno (142).

Existen dos tipos de micorrizas:

1. Los *ectótrofos* o externos que penetran poco en las raíces, cubriéndolas con una densa película de micelios que varían desde el color blanco hasta el negro, y normalmente tienen una espesura de 0,02 a 0,04 mm. Solamente surgen en árboles, donde pueblan las raíces suberificadas y lignificadas, rara vez cubriendo también las puntas de las radicelas. Pueden formar nódulos simples o coraloides, lisos o cubiertos por otro micorriza en infección secundaria, y pueden completar hasta el 34 a 45 % del peso seco de las raíces (59).

Gracias a estos micorrizas las raíces leñosas, que ya no tenían más poder de absorción, entran nuevamente en proceso de absorción, aumentando, de este modo, la superficie activa de la raíz, no sólo por el mayor grosor que alcanza junto con la película fúngica, como por el aumento considerable de la parte de la raíz ahora activada por el hongo, pudiendo asimilar agua y nutrientes, proceso que antes estaba restringido a la cofia de las radicelas.

Pero los micorrizas no sólo aumentan sustancialmente el área radicular empeñada en la absorción, sino que también poseen un poder de movilización de nutrientes mucho mayor que la raíz vegetal, aumentando en especial la absorción de fósforo y nitrógeno. Esto se atribuye tanto al mayor contacto del hongo con el suelo, como a su poder de utilizar compuestos orgánicos y de formar "quelatos" minerales (61), de fijar nitrógeno (139), ya sea directamente o a través de bacterias o algas fijadoras de nitrógeno con los cuales viven asociados, suministrándoles manita (46, 105). No obstante, dependen siempre de la aireación del suelo. Por eso, tienen lugar en especial en suelos arenosos y en arcillosos cuando son grumosos.

2. Los *endótrofos* o endófitos, que viven dentro de la raíz y no son visibles a simple vista. Estos se producen casi exclusivamente en gramíneas, leguminosas y prácticamente todas las plantas herbáceas, con excepción de las *Crucíferas* (29, 69, 134) y *Liliáceas* (52). Tabaco, papa, algodón, tomates, las forrajeras y todas las otras plantas cultivadas o espontáneas, se benefician con los micorrizas endótrofos. Por lo general, los hongos pertenecen a los ficomicetos y su vida es semejante a la de los rizobios o bacterias noduladoras. El hongo entra en la raíz cuando ésta está suficientemente fuerte para sustentarlo, y sale de ella si el crecimiento se detiene, por concluir el ciclo vegetativo, por inundación o por sequía. El hongo sobrevive en el suelo, y entra en la raíz sólo cuando el crecimiento se inicia nuevamente. En las células radiculares forma arbúsculos y vesículas, siendo estas últimas órganos de almacenamiento, en especial de grasas, mientras que los arbúsculos son órganos de aprovisionamiento para el vegetal, y son de fácil descomposición, permitiendo a la planta retirar de allí sus nutrientes. Al final del período, las radicelas infectadas mueren (49), liberando los micorrizas al suelo.

En las gramíneas, los micorrizas pueden posibilitar un desenvolvimiento normal de las plantas, aun en suelos altamente deficientes en minerales. Por ejemplo, la avena consigue crecer satisfactoriamente en suelos con gran deficiencia de manganeso, cuando sus raíces están infectadas por micorrizas (100, 103).

Los micorrizas endótrofos difieren de los ectótrofos por poder tornarse fácilmente parásitos si las condiciones nutricionales de los hospedantes empeoran, perdiendo éstos su vigor y no pudiendo mantener más su hongo simbionte. Idéntico hecho sucede con las bacterias noduladoras o rizobios. En condiciones adversas pueden debilitar a las raíces de los hospedantes de tal modo que abren camino para hongos patógenos como *Rizoctonia, Fusarium, Phytium* y otros, lo que tiene lugar, especialmente en épocas secas.

Los micorrizas, en condiciones que les son favorables, aumentan el crecimiento vegetal al movilizar nutrientes, en especial P, Ca y K, fijar nitrógeno (100), y defender el espacio radicular por antibióticos (99).

Todos los simbiontes son benéficos en condiciones normales y maléficos en épocas adversas.

El hecho de que las gramíneas mejoren la estructura del suelo, formando agregados, no se debe a las raíces vegetales, sino a los hongos asociados a éstas (55, 83), y a los metabolitos que excretan, como por ejemplo: ácido urónico. Los hongos más importantes en este sentido son *Phytium, Aspergillus, Cephalosporum, Cylindrocarpon* (8) y *Penicillium* (162). Se confunden los límites entre hongos patógenos, tróficos y simbiontes, y parece que la actividad depende tanto del organismo, como de las condiciones en que está siendo obligado a vivir.

Manejo de los micorrizas

Los micorrizas se benefician de los suelos aireados, drenados y protegidos contra insolación directa. Por lo tanto, todas las medidas que contribuyen para mantener el suelo grumoso, benefician a los micorrizas, y con ello al crecimiento vegetal. Las costras adensadas o compactadas en la superficie del suelo hacen que las condiciones sean desfavorables para los micorrizas, tanto como los "pans" o "pisos de arado" que estancan el agua del terreno. Por eso, el aflojamiento del suelo por un subsolador y una arada superficial son más ventajosos que una arada profunda. *Cover-crops* son mejores que los herbicidas, que dejan el suelo desprotegido, aunque no haya perjuicio directo contra el hongo por el herbicida.

Se benefician con una fertilización fosfatada, preferentemente de fosfatos poco solubles, como hiperfosfato, termofosfatos, escorias o fosfatos naturales (89).

En tierras recién desmontadas, los micorrizas de los árboles constituyen muchas veces un problema serio, especialmente en plantas de crecimiento más lento, como las de té. Se aconseja, por lo tanto, plantar como primer cultivo siempre alguna planta de crecimiento rápido y de hábito diferente, como maíz, y mantener el suelo cubierto con una cobertura muerta, á fin de crear un ambiente más propicio a las bacterias y menos propicio a los hongos, gracias a la mayor humedad del suelo.

LA RIZOSFERA Y SU EFECTO

El efecto de la raíz vegetal en el suelo sobre los microorganismos es tanto mayor cuanto más pobre es el suelo. Esto es fácilmente explicable, ya que cada raíz excreta sustancias orgánicas que sirven de alimento para microorganismos (75). En suelos más ricos en materia orgánica, este efecto desaparece, y en suelos pobres es más fuerte (120, 121, 122).

Cuadro 6.1 *Efecto de la rizosfera de trigo sobre la población microorgánica (***Katznelson,** *1948)*

Microorganismos	*Cantidad de microorganismos*	
	tierra no enraizada	*tierra de la rizosfera*
total	57.700.000	1.121.000.000
hongos	120.000	1.160.000
protozoarios	990	2.410
algas	26.900	4.500
nitrificadores	100.000	100.000
bacterias esporogénicas	575.000	927.000
bacterias celulolíticas aerobias	2.700	720.000
bacterias celulolíticas anaerobias	120.000	9.100
amonificadores	1.800.000	100.000.000
denitrificadores	140.000	12.650.000

Tanto los hongos como los actinomicetos y bacterias se asientan cerca de las raíces. Excretan enzimas que estimulan el crecimiento vegetal (119) y antibióticos que mantienen los patógenos a distancia (57, 85).

En este caso aumentaron tanto los hongos como las bacterias. En otras plantas los hongos disminuyen en la rizosfera, mientras que las bacterias aumentan (148, 149).

En la rizosfera siempre predominan las bacterias *Gram negativas* debido a la selectividad de la raíz. Pero también muchos fijadores de nitrógeno se asientan allí, especialmente en las gramíneas, como los *Azotobacter, Beijerinckia, Spirillum lipoferum, Pseudomonas, Clostridium,* etc. (2, 3, 36, 37, 75). Ocurre lo mismo, en mayor cantidad, con el *Bacillus megatherium*, que es muy eficiente en la movilización de fósforo, de modo que **Kneur** (1968) lo denominó *Fosfobacter*. Cuando las condiciones de crecimiento vegetal son precarias, y la planta está sufriendo con la sequía o con exceso de humedad, por una estructura deficiente en el suelo o una lluvia prolongada que lixivió los nutrientes del suelo precariamente enraizado, o si una fertilización desequilibrada dificulta el metabolismo, la planta no excreta más las sustancias que mantienen su microflora en la zona de la raíz, de modo que los microorganismos mueren o se tornan parásitos. **Rubin** (1956) cree que una actividad excesiva en la zona radicular lleva a los microorganismos a la simbiosis, es decir, a entrar en la raíz para asegurarse la exclusividad de las excreciones. El manejo de la rizosfera es absolutamente posible, ya que depende de las excreciones radiculares. Cualquier sustancia adicionada o absorbida por la hoja modifica el metabolismo y, por lo tanto, las excreciones que a su vez dan origen a modificaciones de la microflora en la zona de la raíz (101).

Una fertilización foliar, pulverizando urea en una concentración del 0,5 % sobre las hojas de trigo, provocó una modificación radical de los hongos que allí vivían (64, 154, 156). Se verificó también que una pulverización con pesticidas hace su efecto en la rizosfera (158).

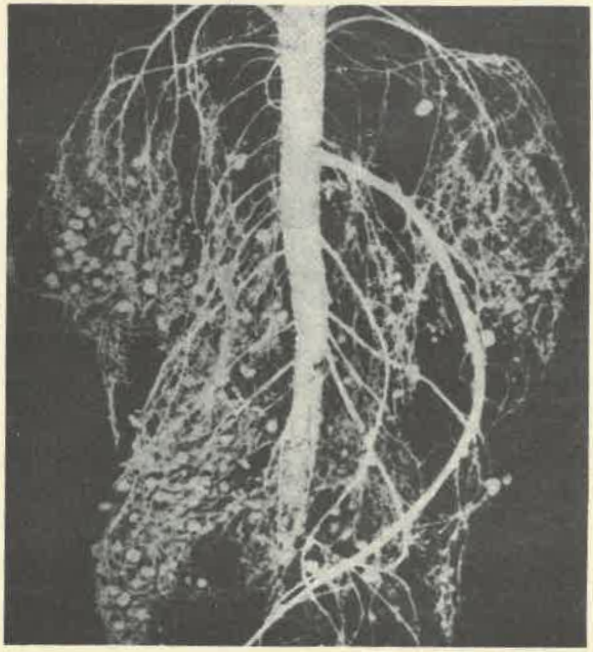


Fig. 6.9 *Raíz de leguminosa intensamente nodulada por rizobios.*

Para evitar un efecto excesivo en la rizosfera y no exponer a las plantas al peligro del parasitismo en épocas adversas, es importante mantener una microvida activa en todo el suelo, lo que se consigue a través de la incorporación superficial de la materia orgánica (ver capítulo 4), y una fertilización módica de P y Ca (fosfato cálcico 250 kg/ha) hecha al voleo. Cuanto más activa es la vida del suelo en general, tanto menor es el peligro del parasitismo microbiano. Por otro lado, con eso no se priva a la planta de los beneficios de la microvida en la rizosfera, pero se evita la proliferación de patógenos, por la mayor actividad del suelo en general.

LAS BACTERIAS NODULADORAS Y SU MANEJO

Como el nitrógeno es el nutriente vegetal que más falta en el mundo, y su producción sintética todavía no sobrepasa el 8 % de la necesidad mundial, todas las posibilidades de fijarlo por otros medios nos interesan.

Varias plantas poseen bacterias noduladoras o rizobios, pero conocemos como ejemplos en especial a las leguminosas. Es un error creer que todas las leguminosas son noduladoras. De las 12.000 especies existentes en el mundo, sólo 1.000 han sido investigadas hasta ahora (fig. 6-9). De ellas, 77 no nodularon de ningún modo, y sólo 8,87 % pudieron ser consideradas como "noduladoras", es decir, con una formación significativa de nódulos y efectiva fijación de nitrógeno (131). Las plantas tropicales nodulan tan bien como las de los suelos templados, si las condiciones son favorables. Así, el 85 % de las *Mimosoideae* nodularon, pero solamente el 35 % en el caso de las *Cesalpinoideae*.

También las plantas no leguminosas pueden tener una nodulación muy efectiva, como *Alnus, Myrica* y otras. Fijan entre 60 y 200 kg/ha de N_2 (141), aunque los noduladores no sean bacterias.

Hay dos tipos de bacterias noduladoras: los *Rhizobium* que son bacterias, pero que en la "cross-aglutination", es decir, en la prueba serológica, no muestran diferencia perceptible de los *Azotobacteriales, Pseudomonales* y *Arthrobacter* (99, 106), y cuyo DNA es igual al del *Agrobacter* (62, 136). Y como segundo grupo, los *Actinomyces*, que nodulan en especial a las no leguminosas (150), de porte arbustivo o arbóreo, como *Casuarina, Alnus*, etc. (19, 20).

Pero para que se produzca una nodulación efectiva, son necesarias tres condiciones:

1. que la planta esté genéticamente dispuesta a aceptar simbiontes;
2. que la planta sea fisiológicamente apta para recibirlos;
3. que las condiciones del suelo sean favorables:
   a) con una microflora que estimule la nodulación,
   b) con los nutrientes necesarios, especialmente fósforo, calcio y, según la planta, con uno u otro micronutriente, especialmente molibdeno (42, 81, 109).

Muchas veces se olvidan los dos últimos puntos en la inoculación y por eso es que uno de los mayores problemas en la nodulación y fijación de nitrógeno es que muchas generaciones de bacterias son ineficaces o de fijación tan lenta, que son prácticamente inefectivas. Esto no depende tanto de las bacterias como de las condiciones en que la planta hospedante crece, y de los fagos que las bacterias poseen (82).

La simbiosis es una asociación entre planta y microbio, fundamentándose básicamente en el hecho de que el microbio recibe carbohidratos directamente de la planta y provee nitrógeno a la misma después de su muerte. Mientras la planta no está en condiciones de proveer carbohidratos a los microbios, no excreta la sustancia estimulante que hace a los microorganismos migrar hacia la raíz. Esta sustancia es un fosfato cálcico y exige, por lo tanto, que la nutrición de fósforo y calcio en la planta sea suficiente. Si la planta es cortada, sombreada o inundada (96), estas condiciones no prevalecen más y la planta termina con la simbiosis, y los nódulos se deshacen.

Es un error creer que una leguminosa en pastura permanente será capaz de enriquecer el suelo con nitrógeno. Por lo general inicia su fijación recién en la 6a. semana de vida, y libera las bacterias hacia el suelo cuando es pastada por el ganado. De modo que las leguminosas permanentemente pastadas no fijan absolutamente nada. Este es el motivo por el que se dice que las leguminosas nativas no fijan. Muchas veces fijan, pero depende del trato que reciban (81).

El efecto de los microorganismos que existen en el suelo es decisivo para la fijación por rizobios. Muchos *Actinomyces, Penicillium, Aspergillus, Streptomyces, Bac. mesentericum,* etc., tienen efecto antagónico, evitando la fijación de nitrógeno (26, 34, 136); pero otros como *Rhizopus, Phomo* y otros hongos benefician la fijación y la actividad de las rizobacterias (143, 144).

Resumen

La nodulación depende de la forma de nutrición de la planta, y la fijación de nitrógeno, de la presencia de organismos sinergéticos que la activan, y de la ausencia de antagonistas cuyas enzimas influyen negativamente sobre las bacterias noduladoras.

Pero, como es difícil controlar los antagonistas en el suelo, se echa mano al control de las enzimas que ellos excretan, ofreciéndoles un complejo coloidal más potente. Es decir, por la adición de materia orgánica y su humificación en presencia de suficiente calcio y fósforo (ver capítulo 4), es posible "eliminar" ese efecto e inactivar muchas enzimas en el suelo, disminuyendo así su cantidad y su peligrosidad para los rizobios. También la modificación del pH puede inactivar enzimas desfavorables. De modo que una nodulación efectiva depende también de la cantidad de materia orgánica, fósforo y calcio en el suelo, tanto como del transporte de carbohidratos a la raíz. Esta última depende, a su vez, del suficiente abastecimiento de la planta con boro. Se necesita también la transformación del nitrógeno fijado, lo que se produce, especialmente, en presencia de molibdeno. Se comprueba que la nodulación efectiva depende tanto de la planta como de la familia del rizobio y de las condiciones del suelo. La simple presencia del inóculo no es suficiente.

FIJADORES DE NITROGENO EN EL FILOPLANO (HOJAS)

Las bacterias fijadoras no viven sólo en las raíces, sino también en las hojas de muchas plantas tropicales (16, 70, 71, 86, 124, 125, 126). En las selvas tropicales fueron encontrados hasta 20 millones de *Azotobactery Beijerinckia* por cm^2 de hoja, juntos con *Arthrobacter, Pseudomonas, Streptomyces* y el fermento *Rhodotorula* (152). Pero también en las hojas de los pastos ("capins") viven muchos microorganismos (46), y todos tienen la capacidad de producir ácido indol-acético, un poderoso agente de crecimiento, usando como base las excreciones foliares (52). Según **Daft** (1966), el 43 % tiene la capacidad de producir antibióticos, que protegen a las hojas contra ataques de patógenos (29), y muchos fijan nitrógeno formando nódulos en las cavidades foliares (140, 141). La fijación de N_2 por estas bacterias foliares, en las selvas, asciende a 200 kg/ha.

El problema del nitrógeno es crucial para toda la vida terrestre, ya que *toda proteína está formada en base a nitrógeno*, se trate de microorganismos, plantas, animales u hombres. Vale la pena examinar el problema más de cerca.

El nitrógeno no es de origen mineral y no se encuentra en ninguna roca. Proviene del aire. Si existen depósitos de salitre en Chile, eso no indica su origen mineral.

El nitrógeno entra en el suelo proveniente del aire. Pequeñas partes entran por contacto directo del aire con la arcilla, otras se fijan por procesos fotoquímicos (30). Mayores cantidades pueden ser aumentadas por las lluvias tropicales acompañadas de intensas tormentas con descargas eléctricas, calculándose que, en caso favorable, pueden alcanzar hasta 70 kg/ha de nitrógeno por año. Pero parte de este nitrógeno luego se pierde hacia el aire en forma de amonio, y otra parte es lixiviada hacia el subsuelo después de su nitrificación.

Parte del nitrógeno entra a través de la fijación por bacterias y hongos simbiontes, que viven en la raíz o en la hoja. Y aun así se calcula que solamente el 4 % de la necesidad de nitrógeno se cubre por la fijación.

Una parte de nitrógeno es captada del aire industrialmente, transformado en nitrógeno comercial, cubriendo, sin embargo, en los cálculos más optimistas, sólo el 6 a 8 % de la necesidad mundial. Otra parte se fija por microorganismos de vida libre, asimbióticos, como los *Azotobacter* (ver figuras 6-10 y 6-11).

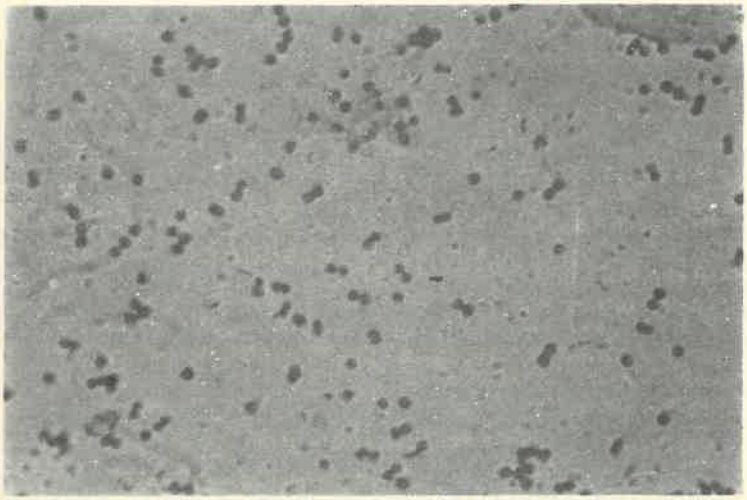


Fig. 6.10 Azotobacter *en su característica forma de 8.*

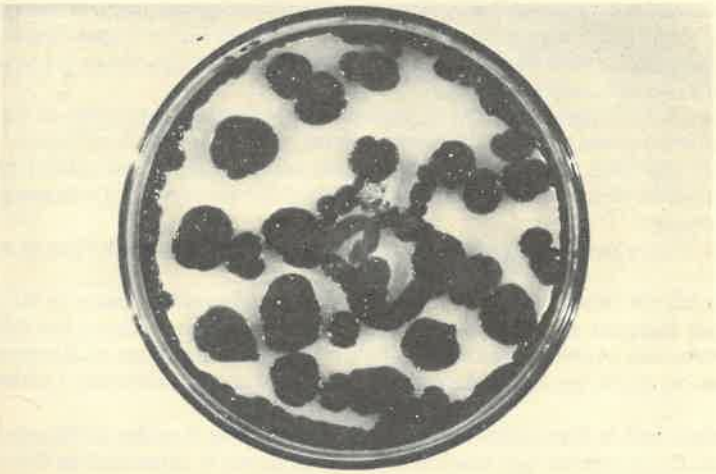


Fig. 6.11 *Colonias de* Azotobacter *con su típica coloración marrón.*

Fijación del nitrógeno por bacterias de vida libre

Si toda la fijación del nitrógeno dependiese de las *Azotobacteriales*, el nitrógeno faltaría en el mundo desde siempre, y nunca podría haber existido el suficiente para soportar la vegetación exuberante del triásico. Nunca habríamos tenido las selvas tropicales ni las fértiles praderas. Habrá quien diga que todo el nitrógeno en el suelo proviene de la materia orgánica. Pero ¿de dónde consiguió ese nitrógeno la materia orgánica? Por supuesto: del suelo. ¿Y cómo el nitrógeno llegó al suelo, ya que no forma parte de ningún mineral? ¡Fue sólo por fijación biológica! (60, 79).

Se calcula que los *Azotobacter* consiguen fijar 40 kg/ha de nitrógeno elemental, que equivalen a 200 kg de sulfato de amonio. Pero parte de este nitrógeno, en forma de nitratos, es lixiviado por el agua de lluvia y va a parar al subsuelo. Todos saben que en época de lluvia prolongada, las plantas se amarillentan por falta de nitrógeno. Y parte del nitrógeno se pierde hacia el aire en forma de nitrógeno elemental o de amonio. Quedaría muy poco para la abundante vegetación tropical.

Hoy sabemos que existen muchos fijadores de nitrógeno. Ya en 1885, **Berthelot** comprobó la fijación asimbiótica de nitrógeno. En 1891 **Winogradsky** descubrió que el *Clostridium*, una bacteria anaerobia, lo fija, y en 1901, **Beijerinck** aisló por primera vez un fijador aerobio muy activo al que le puso el nombre de *Azotobacter*. Y como el nombre era muy alusivo a la fijación, inmediatamente se concluyó que "naturalmente" sólo el *Azotobacter* sería capaz de fijar nitrógeno atmosférico.

Pero, a pesar de toda la estima que el mundo tiene por ese ilogismo, sería un absurdo pensar que sólo "él" sería capaz de proveer todo el nitrógeno que el mundo necesita. Y, a pesar de eso, el *Azotobacter* no es un mayorista que distribuye nitrógeno a todos los que lo necesitan.

Cada hongo, bacteria, actinomiceto y alga necesita de nitrógeno para la formación de la proteína de su plasma celular. Nadie puede formar proteínas sin nitrógeno.

Existen, pues, dos alternativas:

La primera es que ellos encuentran el nitrógeno en el suelo, en los restos orgánicos de las plantas que ellos descomponen. Pero sabemos muy bien que la mayoría de los restos vegetales tiene un tenor muy bajo de nitrógeno, más bajo del que los microorganismos necesitan. Estos necesitan, para la formación de sus proteínas, una proporción de 10 partes de carbono para una de nitrógeno. Pero, por ejemplo, la paja de cereales tiene, por lo general, una proporción que varía entre 40 y 80 partes de carbono para 1 parte de nitrógeno. Y sólo en la masa verde existe la proporción exigida. El resultado lógico es que ningún microorganismo sería capaz de descomponer esta materia orgánica, ya que nadie vive solamente de la energía extraída del carbono (5, 6).

La energía sirve para accionar los procesos de síntesis de sustancias en los microorganismos, especialmente proteínas. Necesitan, pues, de una fuente de nitrógeno. Y como nadie fertiliza una mata virgen o un campo nativo con nitrógeno, esta posibilidad de conseguir el nitrógeno no existe. ¡Lo retiran del suelo! ¿Pero de dónde? ¿De la materia orgánica que no lo posee?

Resta, por lo tanto, la segunda alternativa: los microorganismos fijan el nitrógeno del aire.

Actualmente ya se conocen muchos fijadores de nitrógeno, aparte de las *Azotobacteraceas,* que incluyen el *Azotobacter, Beijerinckia* y *Derxia.* Existen los *Bacilaceas,* los *Pseudomonaceas, Actinomycetaceas, Spyrillum,* fermentos como el *Rhodotorula*, algas cianoficias, es decir, las verdes azuladas, como la *Nostoc, Anabaena, Calthrix,* etc. (46, 102).

Sabemos que la *Bac. subtilis* fija cuando se le induce el poder de fijación por el *Bac. capsulatus*. Es de suponer que muchos organismos tienen la capacidad de fijar el nitrógeno para su propio consumo, si existiese esa necesidad. Pero ni siquiera el *Azotobacter* fija nitrógeno cuando la materia orgánica, como harina-de-alfalfa, posee una proporción de C/N menor que 20 (66). Falta la necesidad de la fijación. Probablemente la fijación de

nitrógeno es solamente un medio que lo habilita para poder utilizar materia orgánica con tan poco nitrógeno, que otros organismos pueden descomponerla sólo muy lentamente. Mediante la fijación de N_2 se garantiza una vida relativamente fácil.

Pero todos sabemos también que la fijación no depende únicamente de la presencia del microorganismo fijador, pero también de:

1. su capacidad de fijar;
2. la presencia de microorganismos sinergéticos y de la ausencia de antagónicos;
3. humedad suficiente;
4. las condiciones generales del medio ambiente;
5. una fuente adecuada de carbono fácilmente accesible.

Antiguamente los fijadores fueron considerados como organismos de suelos neutros. Pero ahora sabemos que en suelos tropicales ácidos ellos también se dan muy bien, como vimos anteriormente, siempre que dispongan de suficiente fósforo y calcio. Un pH de 4,5 ya permite la presencia de fijadores, y una fijación activa tiene lugar a un pH de 5,6.

Cuando se los aísla, prácticamente no fijan. Así, el *Azotobacter* sólo fija mayores cantidades de N_2, cuando está asociado a la ameba *Colpodia steinii* (69), y el *Bac. subtilis* o el *Bac. capsulatum* fijan juntos cantidades considerables de N_2, mientras que no fijan nada si están aislados (61).

Ocurre que parte de los fijadores necesita suelos aerobios, pero utilizan casi exclusivamente productos intermediarios de la descomposición anaerobia de celulosa, razón por la que siempre están acompañados por bacterias celulolíticas que descomponen la celulosa de la paja (114).

Las fuentes de carbono son:

a) alcoholes, como el etílico, butílico o sus ésteres, como glicerina y manita;
b) azúcares como maltosa, sacarosa, arabinosa, glucosa, levulosa, galactosa, etc.;
c) ácidos orgánicos, como el láctico, acético, cítrico, butírico, etc. (71).

Cuadro 6.2 *Grupos fisiológicos de microorganismos en suelo fertilizado con sulfato de amonio, con y sin paja de arroz compuesta* (**Inamatsu**, *1974*)

Microorganismos	*Cantidad de gérmenes por gramo de suelo*			
	luego de la mezcla		*4 meses incubado*	
	con paja	sin paja	con paja	sin paja
Total:				
microflora (bacterias)	500.000	800.000	800.000	250.000
microflora (hongos)	1.400.000	750.000	900.000	750.000
fijadores de N:				
aerobios	0	0	13	25
anaerobios	45.000	7.500	95.000	2.500
amonificadores	$9{,}5 \times 10^9$	$4{,}5 \times 10^9$	$4{,}5 \times 10^9$	$5{,}0 \times 10^9$
nitrificadores	450	450	16	110
nitritadores	95	45	2.500	600
celulolíticos:				
aerobios	1.500	300	2.500	2.500
anaerobios	950	115	2.500	250
Sulfobacterias:				
reductoras	1.500	250	2.500	250
oxidantes	2.500	2.500	950	250
mineralizadoras de S orgánico	0	0	0	9

La adición de paja al suelo estimuló especialmente los fijadores de nitrógeno, con preferencia el *Clostridium*. Los mismos resultados fueron obtenidos por **Waksman** (1927), **Pochon** (1958) o **Dommergue** (1970). Eso se explica por el hecho de que los *Clostridium* son muy tolerantes en lo relativo al pH del suelo, mientras que el *Azotobacter*, que es aerobio, crece casi solamente en suelos con pH por encima de 5,5, sucediendo únicamente en un 2 % de los suelos con pH por debajo de 5,5 (67).

Parece evidente, pues, que donde hay tales productos la aparición de fijadores es casi segura. De modo que la rizosfera de plantas que excretan estas sustancias, generalmente está poblada por microorganismos fijadores, que fijan allí el nitrógeno, poniéndolo a disposición de la planta (74). Pero, como la eficiencia de fijación depende del ambiente, tanto de la riqueza mineral como de la fuente de carbono y de los microorganismos, cada suelo tiene diferentes nitrogenasas en la rizosfera de cada planta. Así, por ejemplo, mientras la rizosfera del arroz es muy rica en fijadores de nitrógeno en suelos ferralíticos, la de *Eleuzine sp.* conocida como pie-de-gallina únicamente lo es en suelos ferruginosos, que son sus preferidos (159).

FIJACION DEL NITROGENO POR ALGAS

Se le atribuye a las algas el principio de toda la vida en "tierra firme", por ser microplantas clorofiladas capaces de captar tanto su carbono como su nitrógeno del aire (15).

Entre los paralelos 0 y 30, o sea, en los suelos tropicales y subtropicales, las algas constituyen el grupo de microorganismos de mayor expresión (47). Las que despiertan el mayor interés en la agricultura son las algas *Cyanophyceae*, verde-azuladas, que viven en la superficie del suelo cuando éste tiene la humedad adecuada. Necesitan la incidencia de la luz directa para su vida que, gracias a la clorofila formada, es completamente autótrofa. Captan el CO_2 del aire, que fotosintetizan como las plantas superiores, formando carbohidratos. Fijan nitrógeno para la formación de sus proteínas y sólo retiran minerales del suelo. Ellas cubren sus paredes celulares con una masa mucilaginosa para protegerlas contra un resecamiento rápido, y pueden formar colonias gelatinosas, como por ejemplo el alga *Nostoc*. Poseen un gran poder para embeber agua, pudiendo absorber hasta 12 veces su volumen (39), y pierden esta agua muy lentamente. Penetran en el terreno y lo cubren con una capa mucilaginosa, que confiere un aspecto esponjoso a la superficie, aumentando su poder de infiltración y de retención de agua útil. Son verdaderos *condicionadores del suelo*, lo enriquecen con materia orgánica y nitrógeno, aumentando su porosidad, con resistencia al resecamiento y a la erosión (130, 137).

Pueden ser encontradas en gran cantidad dentro del suelo, aunque su número elevado no indica actividad. En la oscuridad se mantienen en estado de sobrevivencia, prácticamente inactivas, en una vida heterótrofa, es decir, que su vida depende de la presencia de materia orgánica, ya que no consiguen formar clorofila. De modo que en suelos secos, sin materia orgánica, su sobrevivencia se ve amenazada (91).

Su vida activa depende, como la de cualquier microorganismo, de las condiciones del medio ambiente, que debe posibilitar la máxima velocidad en las reacciones de sus enzimas, y la producción de enzimas depende de la edad del organismo.

Como la actividad enzimática está restringida a determinada faja de pH, éste es de suma importancia para las algas. Muchas prefieren un pH neutro a alcalino; sin embargo, existen centenares de cepas adaptadas a la vida en suelos ácidos con pH entre 5,3 y 5,6.

La temperatura tiene poca importancia para la vida activa de las algas, porque pueden crecer entre 4° C y 60° C (40), y tanto en lagos como en suelos desérticos, donde forman costras superficiales, posibilitando la aparición repentina de verde en un desierto después de la lluvia (47). *Las condiciones básicas para su vida son humedad y luz.* De allí su gran importancia para las zonas tropicales con estación seca y estación de aguas. Al comienzo de la estación de las aguas el suelo está descubierto, expuesto a la luz solar y al agua de las pri-

meras lluvias. Es la época en que las algas se multiplican explosivamente, *condicionando el suelo* para la vegetación siguiente, y fijando nitrógeno.

Esta multiplicación no tiene lugar después de la quema del campo ni después de una fuerte fertilización con sulfato de amonio, o la adición de sulfato de cobre, que se junta al agua de irrigación del arroz (47, 107). Se sabe que es posible evitar la proliferación de algas, adicionando 2,5 kg/ha de sulfato de cobre en el agua de irrigación (165). La quema de pastos tropicales hace desaparecer a las algas y aparecer a los mosquitos del suelo, que son controlados por ellas (54), especialmente en lugares bastante húmedos.

Probablemente toda fijación de N_2 por suelos húmedos en presencia de luz, reportada por muchos autores, se deba a las algas verde-azuladas.

Las fijadoras más poderosas entre las algas son *Aulosira fertilissima, Tolypothrix tenuis, Nostoc spp, Cylindrospermos musicola, Anabaena spp* y *A. unispora, A. cylindrica* y otras.

La fijación de nitrógeno varía según el ambiente, la eficiencia de las algas y los microorganismos acompañantes, pudiendo alcanzar hasta 90 kg/ha, lo que equivale a 450 kg/ha de sulfato de amonio (11). En Asia y América Central se inocula el suelo con algas secas en base a 0,2 a 2,3 kg/ha. Cuando se humedecen reviven, iniciando su actividad y multiplicándose año a año.

La fijación depende, sin embargo, no únicamente de la nutrición del alga sino también de otros microorganismos con los que viven asociadas y hasta en simbiosis (40, 105). Tanto las células vivas como los heterocistos pueden fijar nitrógeno (104). Para que lo fijen, necesitan igualmente de un cierto nivel de calcio, fósforo y molibdeno en el suelo.

Cuadro 6.3 *Cosecha de arroz irrigado en kg/ha con y sin inoculación con 200g/ha de alga* Tolypothrix *(***Subrahmanyan,** *1965)*

Tratamiento	*Rendimiento en granos*		*Rendimiento en paja*		*Aumento del rendimiento en granos %*
	– alga	+ alga	– alga	+ alga	
testigo	1.797	2.195	1.994	2.275	28
$(NH_4)_2 SO_4$	2.463	—	2.630	—	—
Ca, P. Mo	3.001	3.979	3.145	4.327	32

Obs.: calcáreo- 100 kg/ha, s. de amonio- 20 kg/ha, molibdato de Na- 0,28 kg/ha.

Pero no sólo fijan nitrógeno, sino también movilizan fósforo en el suelo. La fijación de N_2 en la sombra, por ejemplo en suelos pastoriles, depende de la intensidad de la luz en el período precedente, de la concentración de CO_2, y de la cantidad de glucosa formada. La glucosa aumenta la fijación en la luz, y la prolonga en la oscuridad (41).

Todas las algas verde-azuladas crecen mejor en suelos ablandados por cultivos que en tierra virgen, fijando en los suelos aireados hasta 10 veces más N_2 (40).

Comprobamos que la fijación por gramo de suelo en una hora varía mucho según el lugar y las diferencias de nutrientes en el suelo.

En la naturaleza, las algas nunca aparecen aisladamente, sino siempre en asociaciones y hasta en simbiosis con raíces, hongos, protozoarios o bacterias. Los líquenes son un ejemplo bien conocido.

En la simbiosis con hongos, el socio *phycobionte*, o sea el alga, capta CO_2 en la fotosíntesis, transformándolo en carbohidratos, y abasteciendo el *mycobionte*, es decir, el hongo, con glucosa. Dentro de los 2 minutos siguientes el hongo la convierte en manitol, necesario para la mayoría de los fijadores de nitrógeno, inclusive el *Azotobacter* (105). Por lo tanto, poco puede revelar la investigación de cultivos de algas aislados.

Cuadro 6.4 *Nitrógeno fijado por algas, bajo condiciones controladas, en suelos nativos de Tunicia* (**Englund**, *1975*)

Suelo	*Lugar de muestreo*	*Fijación máx. en* $\mu g\ N_2/g/ha$	*Variación*
arenoso, seco	1	11,9	2,6
	2	14,8	9,0
	3	75,0	67,1
arena arcillosa húmeda	1	133,1	14,3
	2	47,8	4,6
	3	18,2	2,5
arena desértica	1	—	—

Resumen

Las algas verde-azuladas no sólo actúan como condicionadores del suelo, también fijan nitrógeno y movilizan fósforo. Su actividad depende de un terreno aireado, de suficiente calcio, fósforo y molibdeno, con incidencia directa de la luz y humedad adecuada. Se ven perjudicadas por una fertilización con sulfato de amonio, una quema del campo o la adición de sulfato de cobre al agua de irrigación. Los suelos con capas de algas verde-azuladas en la superficie son más resistentes a la sequía.

COMO SE CREAN LAS CONDICIONES PARA LA FIJACION DE NITROGENO

El problema principal no es saber cuáles son los organismos que fijan y cuánto fijan, sino cómo crear las condiciones para que ellos fijen nitrógeno de manera eficiente.

Se sabe que los fijadores aparecen en la rizosfera de pastos y césped, especialmente en compañía de bacterias capaces de descomponer celulosa, ya que utilizan los productos intermediarios de esta descomposición (123). **Dhar** (1961, 1968, 1972) fue el primero en aprovecharse conscientemente de este hecho en suelos tropicales ácidos de la India, con un suceso inesperado y fuera de lo común. En la descomposición semi-aerobia de celulosa, ya se trate de paja, bagazo, hojas secas o cáscara de algodón, en presencia de fosfatos cálcicos, usando escoria de Thomas, hubo una fijación de nitrógeno tan grande que permitió altísimas cosechas agrícolas. En la descomposición semi-aerobia, él sacó provecho del aerobismo del suelo para los descomponentes de celulosa, que mejoraron la bioestructura del suelo, y del anaerobismo, para la producción de sustancias que podían servir de alimento para los fijadores.

Primavesi (1973) repitió esta experiencia en Brasil, con el mismo resultado. La paja incorporada superficialmente al suelo (de 8 a 10 cm de profundidad), junto con 300 a 500 kg/ha de harina-de-huesos o escoria de Thomas, dio en un suelo franco-arenoso una cosecha media de 9,5 t/ha de maíz contra 6,5 t/ha con fertilización de 550 kg/ha de una fórmula de NPK para maíz.

En suelos salinos de la Argentina se juntó sulfato de amonio con la paja. Hubo un mejoramiento sustancial de la bioestructura del suelo, pero ninguna fijación de nitrógeno (94, 95). En Brasil, análisis de nitrógeno mostraron un aumento sustancial de N en el suelo, después del empleo del método citado más arriba, pero la cantidad de *Azotobacter* encontrada no justificaba de manera alguna este aumento. No parece tener importancia saber cuál es el microorganismo que fija el nitrógeno; lo importante es que tenga lugar la fijación. Tampoco es importante inocular la tierra con fijadores de nitrógeno, sino crear las condiciones para que ellos puedan trabajar. Los gérmenes aparecerán traídos por el viento, por insectos, y tal vez de esporos que sobreviven en el suelo. De nada sirve una inoculación sin condiciones de vida activa.

Resumen

Para que tenga lugar la fijación de nitrógeno en el suelo es necesario incorporar paja superficialmente, adicionando al mismo tiempo los elementos nutritivos carentes, en especial fósforo y calcio, pero también potasio y micronutrientes. Eso depende del suelo. La fijación no se produce cuando la paja es enterrada en profundidad, ni cuando el material orgánico y la fertilización mineral son aplicados en épocas diferentes. Se debe fertilizar especialmente para beneficiar los microorganismos. El cultivo aprovechará eso. Se comprobó que las plantas crecen mejor con la misma cantidad de N_2 fijado por bacterias que cuando son fertilizadas con nitrógeno sintético. Esto se explica por el hecho de que los fijadores producen triptófano y ácido indol-acético, que necesitan para el proceso de fijación, pero que son igualmente poderosas hormonas de crecimiento para las plantas.

También tiene gran importancia la fijación por algas cianofíceas, especialmente en suelos tropicales, donde después de la estación seca, con el inicio de las lluvias, el crecimiento vegetal es casi explosivo (46, 72, 147), sin que exista materia orgánica en el suelo. Parece lógico que la materia orgánica en el suelo no puede ser considerada como fuente primaria de nitrógeno, ya que la planta tuvo que recibir el nitrógeno para poder formar su materia orgánica. La fuente primaria son los microorganismos que lo fijan, y que necesitan de materia orgánica en descomposición si son bacterias, o que la forman, si son algas.

MICROORGANISMOS QUE MOVILIZAN FOSFORO EN EL SUELO

En los suelos tropicales, con su nivel extremadamente bajo de fósforo, no podría haber tal crecimiento exuberante si las plantas no tuviesen una fuente secreta de este nutriente. Nuestros extractores, en los laboratorios de rutina, tratan de imitar la raíz vegetal, pero nunca tentaron imitar el potencial de movilización de los microorganismos, ya se trate de bacterias, micorrizas o algas (40, 89).

En suelos de huerta, periódicamente fertilizados con estiércol fresco de corral, no es raro que haya un aumento de fósforo de tal volumen que dificulte sobremanera la producción vegetal por causa de la aguda falta de micronutrientes como cinc, cobre y manganeso. El nivel óptimo de fósforo disponible extraído con un extractor de ácidos fuertes muy diluidos, parece ser de 50 mg por kg de tierra. Con estiércol fresco y grasa puede subir hasta 800 mg/kg de tierra (114). Es un aumento indeseado, incontrolado, pero aun así, existe. Sabemos del mismo modo que las leguminosas como, por ejemplo, el poroto menudo *(Vigna sinensis)* o Kudzú *(Pueraria phaseoloide)*, movilizan fósforo en cantidades apreciables, para producir no sólo cualquier cosecha, sino también dejando un saldo positivo de fósforo en el suelo, aumentando su tenor. Así, un tenor inicial de 5 ppm de P en el suelo, puede aumentar hasta 20 ppm por el poroto-menudo y hasta 45 ppm por el Kudzú, y esto sin haber todavía retorno de la paja.

Sabemos que *Aerobacter* y *Bacillus* (53), *Pseudomonas, Bac. circulans,* que también es capaz de oxidar silicio (160), y especialmente *Bac. megatherium* (22), son capaces de movilizar fósforo en la rizosfera. Los rizobacter son más efectivos cuando están asociados al *Bac. megatherium,* que moviliza fósforo. También los hongos como *Aspergillus, Alternaria* y *Penicillium* (46), pero más especialmente los micorrizas, movilizan fósforo. Por ahora el mecanismo todavía no es bien conocido, sabiéndose sólo que los organismos producen ácido keto-glutónico para movilizar el P, pero no sabemos nada todavía sobre la manera de producir un ambiente favorable a estos microorganismos, salvo un suelo aireado y un tenor adecuado de calcio.

Se cree que se produce debido a determinados aminoácidos que quelatan el fósforo mineral, pero se ignora todavía cómo incentivar esta producción de aminoácidos.

Se sabe con certeza que el fósforo es de fácil disponibilidad en suelos grumosos, bien agregados, y que casi no existe en suelos compactados. El mantenimiento de la estructura activa del suelo es, pues, una medida para mantenerlo disponible.

Cuadro 6.5 *Relación entre agregados estables, fósforo y Al.* (**Primavesi**, *1973*) (113)

pH	*Agregados estables* %	*Fósforo disponible* mg/kg	*Al intercambiable* me %
7,3	62,3	27,0	0,4
5,8	63,4	12,0	0,6
5,4	29,7	7,0	0,6
4,2	25,4	7,5	2,1

En este suelo arcilloso hay una relación directa entre la agregación, el aluminio intercambiable y el fósforo disponible, aunque todavía no se consiga explicar la razón. La influencia del pH es nítida, dejando suponer que las bacterias o microorganismos activos en la movilización de fósforo sean aerobios, con enzimas que necesitan una reacción alrededor del neutro para su actividad y que encuentran en la rizosfera.

En Rusia se inoculan semillas con "fosfobactrina", que son cultivos de *Bac. megatherium*, alcanzándose un aumento considerable en las cosechas. En Austria se inoculan semillas de cereales con una mezcla de bacterias y enzimas, consiguiéndose idénticos resultados.

MICROORGANISMOS QUE CONTRIBUYEN A LA AGREGACION DEL SUELO

Los microorganismos celulolíticos, especialmente *Sporocytophaga* y *Cytophaga*, normalmente se producen asociados con hongos y amebas.

Sólo las bacterias más nuevas tienen forma de bastoncillos curvos; las más viejas y más distantes de la celulosa ya no encuentran condiciones satisfactorias de vida y se enquistan.

Fig. 6.12 Sporocytophaga *en consorciación con hongos y amebas.*

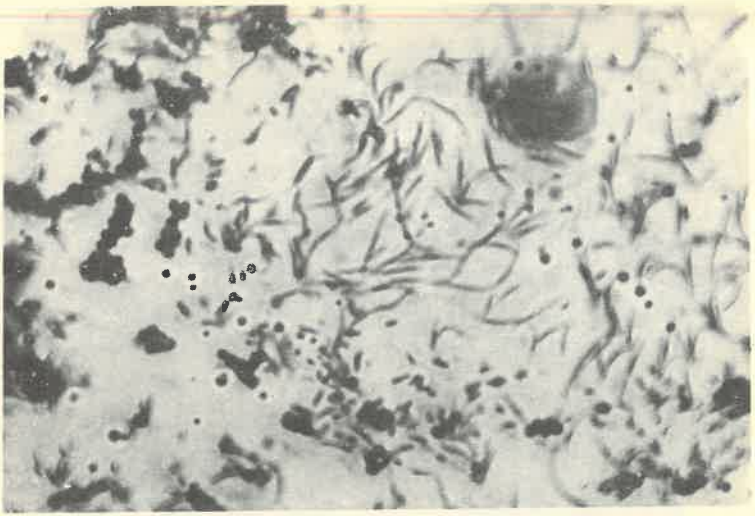


Fig. 6.13 Cytophaga *en forma de bastoncillos curvados cerca de la fuente de celulosa, pero en forma de quistes distantes de la misma.*

No es tan importante su número como su eficiencia. En dos placas inoculadas con dos cepas de *Cytophaga,* una proviene de un cultivo mal nutrido y la otra, de uno bien nutrido. Se observa que los descendientes de las bien nutridas producen mucha más *jalea bacteriana* que los de las mal nutridas. Pocos microorganismos eficientes pueden producir mucha más *jalea* que muchos hambrientos e ineficientes.

En el mismo suelo, con diferente fertilización, son totalmente diferentes la cantidad y la eficiencia de los celulolíticos, aparte del efecto de la asociación con otros microseres.

Los microseres que contribuyen a la agregación del suelo son todos heterótrofos que necesitan de materia orgánica como fuente de energía. Los actinomicetos son considerados como los más poderosos agregadores del suelo (35), especialmente porque son los formadores más eficaces de sustancias húmicas. Normalmente en zonas tropicales la formación de humus se restringe a lugares de mayor altitud, que son los de temperaturas más bajas. Pero el humus formado en esas condiciones no agrega, sino que lixivia el suelo (ver capítulo 4). En los trópicos, en tierras agrícolas, la formación de humus es prácticamente imposible. Por lo tanto, los microorganismos importantes para los climas cálidos son las bacterias celulolíticas, que descomponen celulosa en condiciones aerobias, produciendo ácidos poliurónicos que agregan el suelo. A éstas pertenecen las *Cytophaga, Sporocytophaga, Cellvibrio* y otras semejantes, además de los hongos *Trichoderma lignorum, Penicillium urticae, Fusarium lignorum* y otros (115).

La "jalea bacteriana" *(bacterial gum),* como se les llama a los ácidos poliurónicos, que tienen carácter coloidal, es producida especialmente por *Cytophaga* y *Sporocytophaga,* en la descomposición de paja en presencia de amebas. Se basa en el hecho de que la celulosa que alcanza aproximadamente el 40 % de la paja, no es nada más que azúcar polimerizado o, para decirlo más simplemente, un compuesto de muchas moléculas de azúcares ácidos unidos a una estructura compleja. Por la oxidación se quiebran los eslabones de ligadura de esta estructura y se libera nuevamente el azúcar ácido, llamado ácido urónico, que en el conjunto de la celulosa y de los azúcares ácidos provee finalmente los ácidos poliurónicos, que tienen el mismo poder agregante que las sustancias húmicas, a pesar de ser un producto de la fase inicial de la formación de humus (150).

Fig. 6.14 Cytophaga *descomponiendo una fibra de celulosa.*

El primero en hacer uso de este proceso fue **Molina** (1961), que en la práctica agrícola se valió de la producción dirigida en masa de ácidos poliurónicos para el mejoramiento de los suelos estepizados, salinos, en la Argentina, que estaban abandonados. Incorporó superficialmente paja de sorgo junto con una fuente de nitrógeno para las *Cytophaga*, usando 200 a 300 kg/ha de sulfato de amonio, y recuperando de esta manera más de dos millones de ha que parecían irremediablemente perdidas para el uso agropastoril.[7]

Primavesi (1973) tentó hacer lo mismo en los suelos ácidos del sur brasileño, y más tarde en el centro-sur, y constató que allí los productores de ácidos poliurónicos no necesitaban tanto nitrógeno, sino más bien calcio y fósforo, y en suelos pesados, también micronutrientes. En este sistema el nitrógeno necesario fue fijado por otros microorganismos asociados a las bacterias celulolíticas.

El problema de la imposibilidad de humificación en suelos agrícolas tropicales fue así resuelto satisfactoriamente, mediante la producción dirigida de sustancias agregantes.

Estas bacterias no movilizan nutrientes, pero, como posibilitan un enraizamiento de un espacio mucho mayor del suelo, las plantas están mejor nutridas.

[7] Los trabajos de Molina y cols. se realizaron en realidad sin el agregado de nitrógeno. El aumento del número de bacterias fijadoras de nitrógeno (azotobacter) fue notable en estos trabajos en gran escala. *(J.S.M.)*

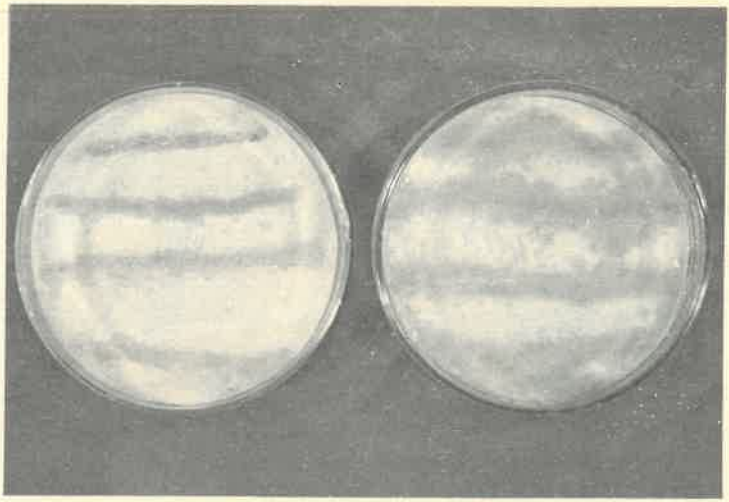


Fig. 6.15 *Producción de ácido poliurónico: en la placa de la derecha, por bacterias de un suelo rico con abundante producción; en la placa de la izquierda, por bacterias provenientes de un suelo pobre, con escasa producción.*

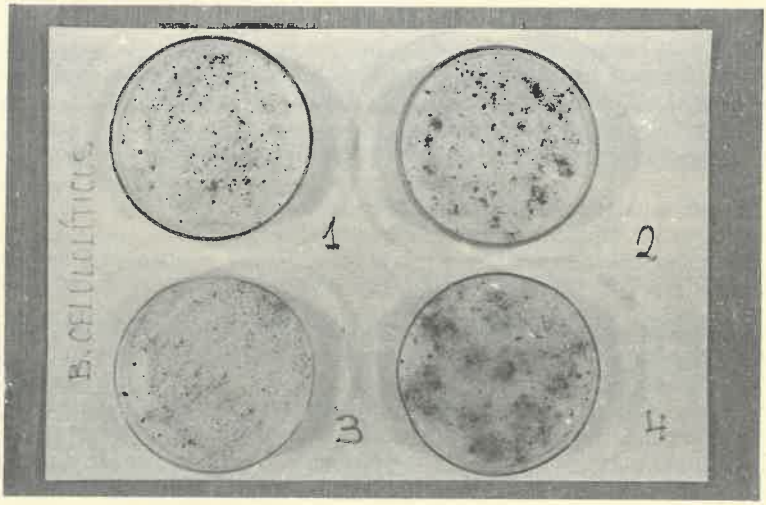


Fig. 6.16 *El tamaño de las colonias, así como la cantidad de jalea bacteriana dependen de la riqueza o pobreza del suelo en que viven.*

No necesitamos inocular el suelo con bacterias celulolíticas. Tan sólo necesitamos crear las condiciones para su desarrollo y proporcionar un pH en el que sus enzimas puedan mantenerse activas que, en este caso, debe ser aproximadamente 5,6. Así se consigue hasta la descomposición de linter de algodón, que normalmente resiste todas las tentativas de descomposición. Se aumentan los minerales que las bacterias celulolíticas necesitan. Las

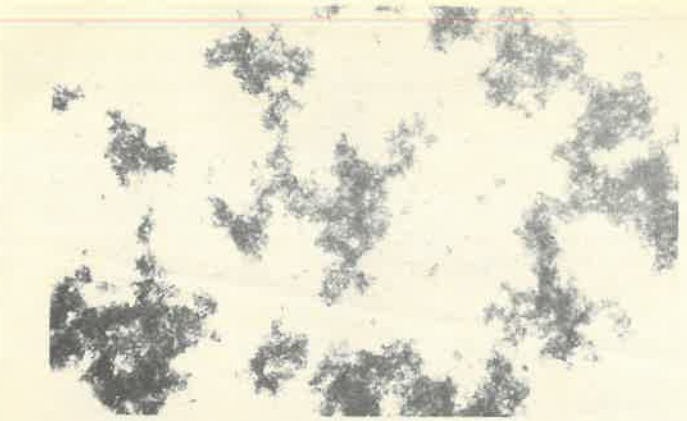


Fig. 6.17 *Asociación de bacterias de una "cadena alimenticia".*

bacterias se multiplican automáticamente, sin necesidad alguna de inoculación mientras los montones de linter sean bajos y la ventilación adecuada. Se necesita una protección contra el sol y el resecamiento, así como contra la lixiviación que produce la lluvia.

Los herbicidas poco afectan a la actividad celulolítica (116).

Resumen

El manejo de los microorganismos del suelo se hace mediante la creación de condiciones favorables para los organismos benéficos a los cultivos. Su actividad puede ser controlada por el producto de su trabajo, por ejemplo, por la eficiencia de descomposición de celulosa y la formación de agregados.

Los microorganismos cuyo manejo nos es posible en la práctica de campo son:

1. los rizobios o bacterias reguladoras en leguminosas;
2. los fijadores de nitrógeno que viven libres en el suelo;
3. los descomponentes de celulosa y productores de una estructura grumosa del suelo agrícola.

Por el uso de la materia orgánica se manejan los organismos, adicionándosele a ésta el fertilizante y el calcáreo, o sea, a los microorganismos; por la rotación de cultivos o, al menos por la variación de plantas desarrolladas en un campo, como ocurre con cultivos consorciados, intercalados, etc., y por la protección del suelo de la insolación directa, con excepción de las algas. Se comprueba fácilmente el resultado de la actividad de los microorganismos por la nodulación de las raíces, por el crecimiento rápido y sano de las plantas y por la agregación de las partículas del suelo, formando una estructura grumosa. El manejo de los microorganismos es muy fácil. Difícil es que el agricultor tome conciencia de ellos.

MEDIOS DE INFLUENCIAR A LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

1. Por el pH

La modificación del pH puede activar o casi inactivar las enzimas de los microorganismos. Si sus enzimas actúan muy lentamente, sin conseguir realizar el proceso bioquímico con suficiente rapidez, las bacterias que las excretan mueren de hambre, o por lo menos se ven obligadas a enquistarse para sobrevivir a esta fase adversa.

Un encalado del suelo, que eleva el pH, una fertilización amoniacal, que baja el pH por causa de los procesos de nitrificación que tienen lugar, tienen, por lo tanto, una influencia muy grande sobre la microvida, estemos conscientes o ignorantes del hecho (77). Modificamos, por lo tanto, no sólo el pH y el tenor en nutrientes del suelo, sino también toda la microvida. Si esta modificación está dirigida, equivale a un control de la microvida; si es arbitraria, también sus efectos sobre la microvida escaparán a nuestro control. El pH también actúa sobre la disponibilidad o fijación de minerales nutritivos. No todos los microorganismos pueden movilizarlos y, por ello, sienten el efecto de la modificación de la reacción del suelo.

La microvida de suelos tropicales está adaptada a un pH entre 5,3 y 6,1, y no exige ni necesita suelo neutro para su mejor actuación. Se puede decir que, en suelos con un pH de 5,6, la mayoría de los microorganismos benéficos a los cultivos tropicales, existe y sus enzimas son activas.

2. Por la materia orgánica

Es el factor más poderoso de influencia. El abono verde cría bacterias y hongos (56) y no contribuye para la estructura del suelo, ya que es muy pobre en celulosa, pero rica en nitrógeno. Fácilmente cría patógenos de cereales, en especial de trigo, probablemente por el exceso de nitrógeno que adiciona al suelo, ya se trate de leguminosas o de otras plantas, debido a que todo material nuevo tiene una relación C/N muy baja (44).

La incorporación superficial de paja, rastrojo, hojas secas, bagazo-de-caña, etc., es decir, de material más lignificado y con alto tenor en celulosa, es francamente ventajosa en suelos tropicales y subtropicales. Como todo material seco posee distinta composición, dependiendo eso de la especie vegetal de la que deriva, beneficia a diferentes microorganismos (153).

Estas condiciones siempre existen si el suelo tiene suficiente calcio, fósforo y molibdeno (138), y si hay una fuente de carbono de su agrado.

La paja en suelo pobre y ácido no provoca reacción benéfica, simplemente se vuelve turba. Las bacterias necesitan tanto una fertilización como las plantas de cultivo, porque en ausencia de los nutrientes necesarios no son capaces de utilizar la materia orgánica como fuente de energía, siendo ésta utilizada solo por hongos.

3. Por la fertilización

La fertilización es, pues, una medida poderosa de controlar los microbios del suelo y criar aquellos que se necesitan.

Y como la mayoría de las bacterias benéficas a los cultivos dependen de materia orgánica, la aplicación de los nutrientes indispensables para su desarrollo debe ser hecha junto con la materia orgánica.

Quiere decir: ¡*fertilízanse los microorganismos*!

Rastrojos, paja y fertilización son incorporados superficialmente al suelo. Eso provoca una descomposición dirigida, por organismos benéficos. Según la fertilización, que puede ser sólo fosfato cálcico o sólo sulfato de amonio, o todos los nutrientes, se consigue un efecto completamente diferente, como vimos. La fertilización del cultivo podrá ser menor o podrá no hacerse, según el caso.

Los nutrientes también pueden ser pulverizados sobre las hojas de las plantas, para modificar la microflora en el espacio de la raíz. Así la fijación de nitrógeno en leguminosas puede ser aumentada por una pulverización con glucosa (151), o la población fúngica puede ser alterada por una pulverización con urea (156). Eso se debe al hecho de que se altera el metabolismo de la planta y las excreciones radiculares se modifican igualmente.

También la peletización de semillas, especialmente con calcáreo o con fosfato cálcico, como harina-de-huesos y escoria de Thomas, o también micronutrientes, es efectiva en particular en leguminosas, donde la nodulación debe ser estimulada. Los micronutrientes

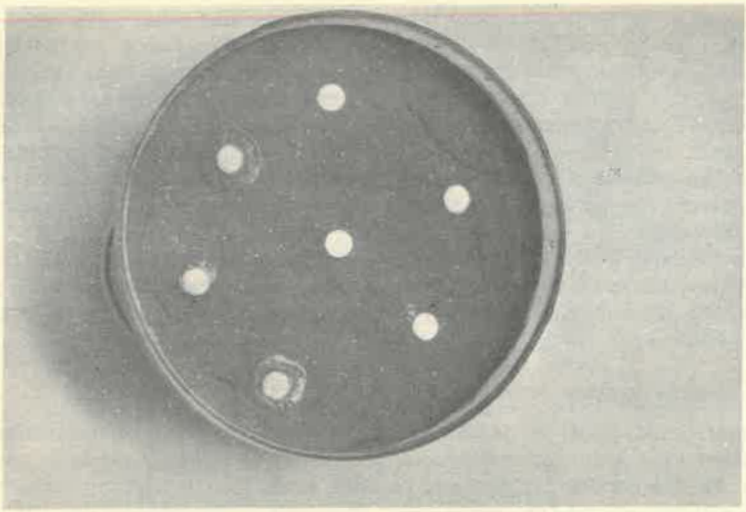


Fig. 6.18 *El tamaño de las colonias de* Azotobacter *depende de la cantidad y forma de fosfato aplicado (en los puntos marcados).*

pueden ser efectivos según la especie de planta (128) o la riqueza del suelo en nitrógeno, siendo muy importantes el boro, el molibdeno y el cobre (58).

Según **Machado** (1971), la peletización de semilla de soja con calcáreo, en base a 1 kg por bolsa de semilla, provocó el mismo efecto sobre la nodulación que 7,2 t/ha de calcáreo en el suelo (ver capítulo 8). Algunos autores hasta aseguraron que obtuvieron mejores resultados sobre la nodulación con la peletización de la semilla de leguminosas, que con el encalado del terreno (13), por colocar el calcio necesario a las rizobacterias directamente a su alcance.

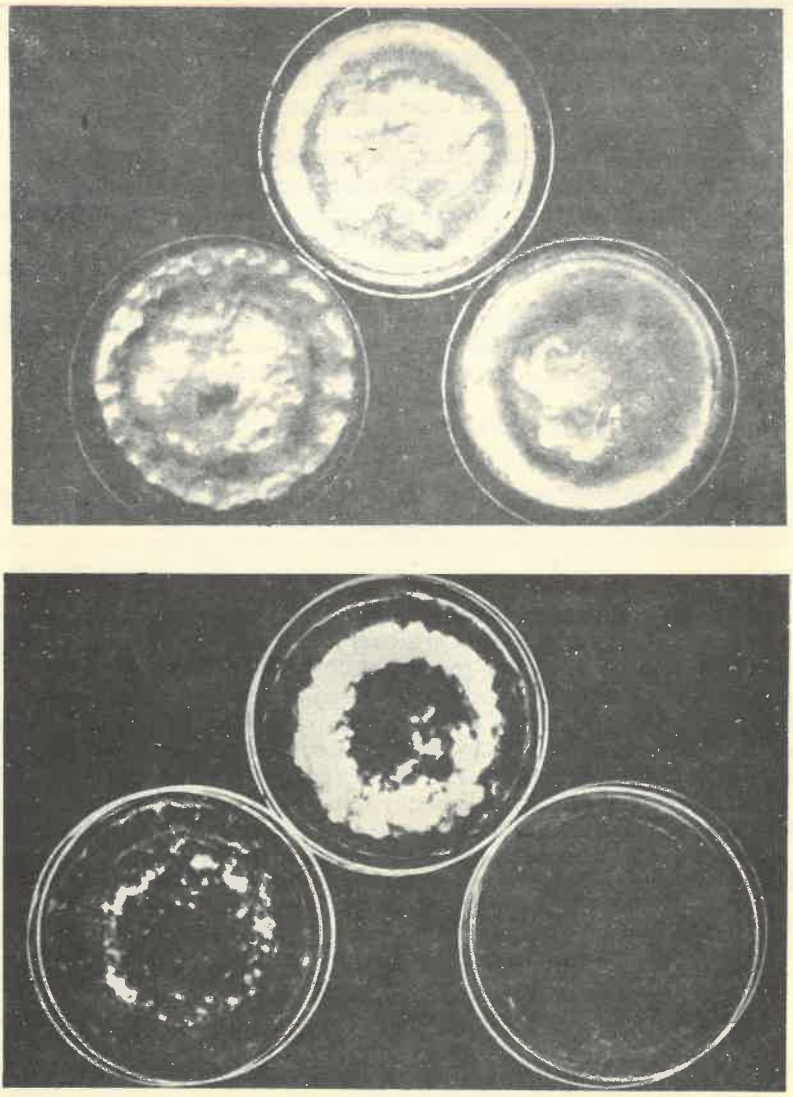
Hay que recordar: *los microorganismos son microplantas que necesitan tanto de nutrientes minerales como las plantas de cultivo, y se perjudican con la falta de ellos* (ver figuras 6-19 y 6-20).

Sin embargo, parece difícil determinar cuándo las técnicas agrícolas benefician a los microorganismos, ya que son invisibles al ojo humano. Pero no se trata de ver las bacterias. Lo que nos interesa es su efecto. Y no queremos saber si uno u otro microorganismo existe en el suelo, pero sí la *comunidad*, de la cual esperamos determinada acción, si está activa. Se necesita, antes que nada, un suelo bien aireado, con la máxima capacidad de retener agua contra la gravedad, y con una microflora bien diversificada para que las plantas se beneficien con ella. Cuando estas condiciones existen, el suelo es grumoso, bien aireado. Si el terreno fuese compacto y anaerobio, podemos tener certeza de que muchas cosas están equivocadas.

4. Por la rotación de cultivos

Una de las medidas más potentes de influir sobre la vida del suelo es la rotación de cultivos en forma racional y deliberada. Esto significa cambiar la materia orgánica que está adicionada al suelo, cambiar las excreciones radiculares, modificar la exploración de minerales del suelo, en fin, beneficiar cada vez organismos diferentes y, con eso, evitar la proliferación unilateral de algunos de ellos.

En una pastura o en una selva nativa hay innumerables especies diferentes, aun cuando se tenga la impresión de que sólo existe pasto-horquilla *(Paspalum notatum)* o "capim-



Figs. 6.19 y 6.20 *Crecimiento y coloración de* Aspergillus niger *en un medio nutritivo con diferentes cantidades de hierro.*

gordura'' *(Melinis minutiflora)*... Pero mirando más de cerca, en seguida encontraremos como mínimo unas treinta especies diferentes. La multiplicidad de las excreciones es grande la exploración es diversificada, y la materia orgánica devuelta al suelo es variadísima.

La cantidad de nutrientes absorbida es específica a la especie y variedad vegetal. Así, por ejemplo, el ''rye-grass'' siempre será pobre en cobre, aun con una fertilización de sulfato de cobre, porque no absorbe más allá de su nivel máximo que está genéticamente fijado. O los pastos del género *Andropogon* siempre serán pobres en calcio, y no absorberán

más, aun después de un buen encalado (al contrario, desaparecen). Por otro lado, hasta de suelos con poca disponibilidad de calcio, la "lengua de vaca" *(Plantago maior)* retira tanto que tiene 1,0 mg de Ca por ml de savia, mientras que la achicoria presenta sólo 0,15 mg por ml. Donde cae una hoja muerta de "lengua de vaca", el suelo queda automáticamente más enriquecido con calcio, que donde cae una hoja de achicoria (1:13). Como consecuencia la microvida también será diferente. Esta diferenciación es muy grande en pasturas nativas, evitando eficazmente la proliferación de algún otro microbio u hongo.

Un terreno cultivado con una especie de planta, sea ésta agrícola, pastoril o forestal, sufrirá la influencia unilateral de esta especie y criará, por ello, una microvida donde predominará un tipo de organismo, que más tarde se tornará peste.

La multiplicidad de la flora es un método eficaz de controlar a los microorganismos del suelo y evitar pestes.

Los cultivos consorciados, cultivos con "cover-crops" en las entrelíneas y cultivos alternados ya son más seguros que los monocultivos.

El abandono de la tierra cultivada para recuperación permite:

1. la recuperación de la estructura grumosa del suelo, y
2. la diversificación de la micro y mesovida.

No es necesario abandonar la tierra para conseguir eso, si el terreno es manejado por técnicas agrícolas dirigidas a lograr la multiplicidad de organismos.

Resumen

El manejo de los microorganismos se hace creando un ambiente que les sea favorable, como se crea un ambiente apropiado para activar los microorganismos en la producción de comestibles como queso, pan, vino, cerveza, etc.

Se controla la microflora del suelo diversificándola, pudiendo así evitar pestes vegetales. La diversificación de la microflora se consigue por la adición periódica de materia orgánica y la rotación de cultivos. La aparición de determinados microorganismos como fijadores de nitrógeno, agregadores del suelo o movilizadores de nutrientes se consigue creando un pH adecuado a su actividad y proveyendo los nutrientes minerales que le son indispensables, aparte de materia orgánica. Esta puede provenir de restos de cultivos o de excreciones radiculares. Casi todos necesitan un suelo adecuadamente aireado. ¡En terreno compactado, la microvida benéfica no se instala!

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Adler, J.** - 1966 - Chemotaxis in bacterias. *Soil Sci. 153 (3737): 708-20.*
2. **Alexander, M.** - 1961 - Introduction to soil microbiology. *Wiley, New York.*
3. ----------, - 1968 - Biochemical ecology of natural microbial communities, *H. Laurits Jensen Festskrift, 41-42.*
4. **Allison, F. E.; V. L. Gaddy; L. A. Pink** e **W. H. Arminger,** - 1947 - Azotobacter inoculation of crops. II: Effect on crops under greenhouse conditions. *Soil Sci. 64:413-29.*
5. **Amor Assunción, M. J.** - 1964 - Influência del agregado de estiercol al suelo sobre el desarollo del azotobacter en placas de tierra moldeada. *Rev. Fac. Agron. y Vet. Buenos Aires, 16(1):167-73.*
6. ----------, - 1970 - Evolución química y microbiológica del processo de nitrificación en el suelo. *Rev. Fac. Agron. y Vet. Buenos Aires, 18(2):141-49.*
7. **Andal R.; K. Bhuvaneswari** e **N. S. Subra-Rao,** - 1965 - Root exudation of paddy. *Nature, 178:1063.*
8. **Apinis, E. E.** - 1968 - Biocenotic relationship of grassland fungi. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 377-84.*
9. **Bachelier, G.** - 1963 - La vie animal dans les sols. *O. R. S. T. O. M. Paris.*
10. **Bajpai, P. D.** e **W. V. S. Rao,** - 1971 - Phosphatlösende Bakterien. I: Der Einfluss des

pH Wertes auf die Phosphatlösung in Wasserkulturen durch ausgewählte Bakterien. *Soil Sci. & Plant Nutr. 17:41-3 e 43-53.*

11. **Balandreau, J. P.; G. Rinando; M. M. Oumarov** e **Y. R. Dommergues,** - 1972 - Assimbiotic nitrogen fixation in paddy soils. *Proc. 1 Int. Symp. Nitrogen fixation, Vol. 2, Washington State Univ. Press, pp 611-80.*
12. **Beijerinck, M. W.** - 1921 - Verzamelte Geschriften, *Delft.*
13. **Bergallo de Arruda, B.; J. Döbereiner** e **C. Magno Getmer,** - 1967 - Inoculação, adubação nitrogenada e revestimento com calcário em três variedades de soja. *An X Congr.* bras. ciênc. solo, Piracicaba.*
14. **Berthelot, M. C. R.** - 1885 - em **Primavesi, A.** 1964, A biocenose do solo na produção vegetal, *Palotti, Sta.Maria/RS.*
15. **Berthelin, J.** - 1971 - Transformation dun sable granitique pour l'activité microbielle. *Sci. du Sol, 1:11-29.*
16. **Bettelheim, K. A.; J. F. Gordon** e **J. Taylor,** - 1968 - The detection of a strain of *Chromobacterium lividum* in the tissue of certain leaf nodulated plants by the imunofluorescence technic. *J. gen. Microbiol. 54:177-84.*
17. **Bezerra Campelo, A.** e **L. Bezerra de Oliveira,** - 1969 - Ocorrência e distribuição em profundidade de *Azotobacter* e *Beijerinckia* em alguns perfis de solo na zona úmida de Pernambuco. *Pesq. agropec. bras. 4:47-52.*
18. **Black, C. A.** - 1968 - Soil-plant relationship. *Wiley, New York.*
19. **Bond, G.** - 1959 - Fixation of nitrogen in non legume root nodulated plants. *Symp. Soc. Exper. Biol. 8 Cambridge Univ. Press, pp 59-72.*
20. ---------- e **F. J. Hewitt,** - 1967 - The significance of Cu for the nitrogen fixation of nodulated *Alnus* plants and *Casuarina. Plant & Soil, 27:447-49.*
21. **Burges, A.** - 1960 - Introducción a la microbiologia del suelo. *Zaragossa.*
22. **Callao, V.** - 1970 - Effect of organism able to mobilize soil phosphorus on simbiontic nitrogen fixation. *Rhiz. Newsle tter, 15(2):121.*
23. **Catani-Cátovic, S.** e **J. L Peterson,** - 1966 - Phytotoxicity of metabolic products of soil fungi *(Penicillium funiculosum Th.), Soil Sci. 101:57-62.*
24. **Chester, Ch. G. C.** e **D. Parkinson,** - 1959 - On the distribution of fungi in rizoshperes of oats. *Plant & Soil, 11:145-56.*
25. **Clark, F. E.** - 1949 - Soil microrganisms and plant roots. *Adv. Agron. 1:245.*
26. **Chonkar, P. K.** e **N. S. Subra-Rao,** - 1966 - Association of fungis with *Rhizobium. Canad. J. Microbiol. 12:125-61.*
27. **Coler, R. A.; H. B. Gunner** e **B. M. Zuckermann** - 1968 - Model mechanism for soil population selection. *Bact. Proc. 3:A-18.*
28. **Coutinho Machado, W.** e **J. Döbereiner,** - 1969 - Estudos complementares sobre a fisiologia de *Azotobacter paspali* e sua dependência da planta. *Pesq. agropec. bras. 4:53-58.*
29. **Daft, M. J.** e **T. H. Nicolson,** - 1969 - The effect of endogen micorrhiza on plant growth. *New Phytolog. 68:953-63.*
30. **Dhar, N. R.** - 1969 - The value of organic matter, phosphate and sunlight in nitrogen fixation of fertility improvement in world soils. *Scient. Varia pp 243-360.*
31. ----------, - 1972 - World food crisis and land fertility improvement. *Univ. Press, Univ. Calcutta.*
32. **Darbyshire, J. F.** - 1972 - Nitrogen fixation by *Azotobacter chroococcum* in the presence of *Colpodia steinii.* I: The influence of temperature. *Soil Biol. Biochem. 4:359-69.*
33. ---------- e **M. P. Greaves,** - 1969 - An improved method for the study of the interrelationship of soil microorganisms and plant roots. *Soil Biol. Biochem 2:63-71.*
34. **Dincev, D.** e **G, Gusterov.** - 1958 - Bodenmikroorganismen Antagonisten der Knöllchenbakterien. *Ann. Univ. Sofia, I (Biol):49-60.*
35. **Donahue, R. L.; J. C. Schickluna** e **L. S. Robertson,** - 1972 - Soils, an introduction to soils and plant growth. *Prentice-Hall, New Jersey.*
36. **Döbereiner, J.** - 1953 - *Azotobacter* em solos ácidos. *Bol. Min.Agric. 11.*
37. ----------, - 1976 - Fixação de nitrogênio em gramíneas tropicais. *An. XV Congr. bras. ciênc. solo, Campinas (1975), pp 593 - 602.*
38. **Dommergues, Y.** e **F. Mangenot,** - 1970 - Ecologie microbienne de sol. *Masson. Paris.*
39. **Durrell, L. W.** e **L. H. Shields,** - 1961 - Characteristics of soil algae relating to crust formation. *Trans. Am. microsc. Soc. 80:73-9.*
40. **Englund, B,** - 1975 - Potencial nitrogen fixation by blue-green algae in some tunisian soils. *Plant & Soil, 43:419-31.*

41. **Fay, P.** - 1976 - Factors influencing dark nitrogen fixation in a blue-green algae. *Appl. environm Microbiol. 31(3):376-79.*
42. **Ferrari, E.** e **J. Döbereiner,** - 1966 - Efeito do revestimento calcário das sementes de leguminosas forrageiras, plantadas em consorciação com gramíneas. *Agron. 24 (único): 5-13.*
43. **Fischer, R. F.** - 1972 - Spodosol development and nutrient distribution under *Hydnaceae* fungal mats. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(3):492-95.*
44. **Flaig, W.** e **H. Maeder,** - 1962 - Über die Wirkung von stickstoffhaltigen Verbindungen in Strohrotteprodukten. *Agrochimica, 4:720-38.*
45. ----------, - 1968 - Uptake of organic substances from soil organic matter by plants and their influence on metabolism. *Scient. Varia, 32:724-70.*
46. **Florenzano, G.** - 1972 - Elementi di Microbiologia del Terreno. *Ramo Editoriale degli Agricoltori, Roma.*
47. **Fogg, G. E.; W. D. P. Stewart; P. Fay** e **A. E. Walsley,** - 1973 - The blue green algae. *Academic Press, London.*
48. **Franco, A. A.** e **J. Döbereiner,** - 1967 - Especificidade hospedeira na simbiose com *Rhizobium-feijão* e influência de diferentes nutrientes. *Pesq. agropec. bras. 2:467-74.*
49. **Garrett, S. D.** - 1950 - Ecology of the root inhabiting fungis. *New Phytol. 50:149-66.*
50. **Gerdemann, J. W.** - 1964 - The effect of mycorrhiza on growth of maize. *Mycologia, 56:342-49.*
51. **Glathe, J.** - 1964 - Wandlungen einiger Probleme der Bodenmikrobiologie. *Nachr. Giessener Hochsch. 47-55.*
52. **Grainger, J. M.** e **R. M. Keddie,** - 1953 - Nutritional studies on coneyform bacteria from soil and herbage. *J. gen. Microbiol. 31:VIII.*
53. **Greaves, M. P.; G. Anderson** e **D. M. Webley,** - 1963 - A rapid method for determining phytase activity of soil microorganisms. *Nature. 200(4912):1231-32.*
54. **Griffin, G. D.** e **D. M. Rees,** - 1956 - *Anabaena unispora* and other blue-green algae as possible mosquito control in Salt Lake country. *Proc. Utah Acad. Arts Lett. 33: 101-03.*
55. **Griffiths, E.** - 1965 - Microorganisms and soil structure. *Biol. Rev. 40:12942.*
56. **Grossmann, F.** - 1968 - Mode of action of green manure against soil born fungal diseases. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 339-40.*
57. **Gusterov, G.** e **M. Ginceva,** - 1960 - *Actinomycetes,* Antagonisten von phytopathogenen Fungi. *Ann Univ. Sofia. I (Biol):71-80.*
58. **Hallsworth, E. G.** e **D. V. Crawford,** - 1965 - Experimental Pedology. *Butterworth, London.*
59. **Harley, J. L.** - 1965 - Mycorrhiza, em **Baker, K. F.** e **W. C. Snyder:** Ecology of soil born plant pathogens. *pp 218-29. Univ. California Press, Berkeley.*
60. **Hauke-Racewiczova, Th.** - 1970 - Fixation microbienne de l'azote dans un sol salin tunisien. *Soil Biol. Biochem, 2:47-53.*
61. **Hatsch, A. B.** - 1937 - The physical basis of mycotrophy in *Pinus. Black Rock Forest Bull. 6.*
62. **Heberlein, G. T.** e **R. De Ley-Tijgat,** - 1967 - Deoxy-ribonucleic homology and taxonomy of *Agrobacterium, Rhizobium and Chromobacterium. J. Bacter. 94:116-24.*
63. **Hirte, W. F.** - 1970 - Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Bodenreaktion und Mikroorganismen. *Zbl. Bakter. Paras. Infekt. Hig. 125(5):647-60.*
64. **Horst, R. R.** e **L. J. Herr,** - 1962 - Effect of foliar urea treatment on number of actinomycetes antagonistic to *Fusarium roseum f. cerealis* in the rizosphere of corn seedlings. *Arch. Mikrobiol. 65:175-81.*
65. **Humphry, B.A.** e **J.M.Vincent,** -1 967 - The effect of calcium deficiency on Rhizobium. *Rhiz. Newsletter, 12(3):204-06.*
66. ----------, - 1972 - Conferência em Tókio *(Noticia particular)*
67. **Inamatsu, K.; A. Tardieu, M. H. Moussin** e **M. Pochon,** - 1974 - Influence d'un compost de paille de riz sur les substances humiques et les microbes d'un sol planté en mûrier. *Rev. Ecol. Biol. du Sol. 11(1) 1-14.*
68. **Ishizawa, S.; M. Aragari** e **T. Suzuki,** - 1969 - Actinomycete flora of japanese soils. III: Actinomycetes of rice soils, B: the production of antibiotica. *Soil Sci.* & *Plant Nutr. 15:214-21.*
69. **Jackson, N. E.; P. E. Franklin** e **R. H. Miller,** - 1972 - Effect of vesicular-arbuscular

Mycorrhiza on growth and phosphor content of three agronomic crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(1):64-67.*

70. **Jones, K.** - 1970 - Stickstoffbindung in der Phyllosphare der Douglasfichte. *Ann. Bot. 34:239-44.*
71. **Jones, D.; J. S. Bacon; V. C. Farmer** e **D. M. Webley,** - 1969 - A Study of the microbial lysis of the cell wall of soil yeast. *(Cryptococcus spp). Soil Biol. Biochem. 1:145-51.*
72. **Jürgens, M. F.** e **C. B. Davey,** - 1968 - Nitrogen fixing blue green algae on acid forest nursery soils. *Canad. J. Microbiol. 14:1179-83.*
73. **Karagujschieva, D.** - 1967 - Die Rolle freier Stickstoffbinder bei Stickstoffansammlung im Boden. *Nachr. Akad. Wiss. Kazach. SSR, 52-64.*
74. **Kass, D. L.; M. Drosdorf** e **M. Alexander,** - 1971 - Nitrogen fixation of *Azotobacter paspali* in association with Bahia grass *(paspalum notatum) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(2):286-89.*
75. **Katznelson, H. A.; A. G. Lochhead** e **M. J. Timonin,** - 1948 - Soil microrganisms in the rhizosphere. *Bot Rev. Lancaster, 14:543-87.*
76. ----------, **J. W. Rouatt** e **T. M. Payne,** - 1955 - The liberation of aminoacids and reducing compounds by plant roots. *Plant & Soil, 7:35-48.*
77. **Khaziyev, F. K. H.** - 1966 - Dependance of nuclease activity of soil on the pH and influence of various substances on it. *Doklady Biol. Kauki, 2:223-27.*
78. **Klezkova, J.** - 1965 - Mutation in simbiotic effectivness in *Rhizobium trifolii* caused by transforming DNA and other agents. *J. gen. Microbiol. 40:377-84.*
79. **Kobayashi, M. T.; T. Katayama** e **A. Okuda,** - 1965 - Nitrogen fixing microorganisms in rice soils XIII e XIV Nitrogen fixation in mixed cultures of photosynthetic bacterias. *(B. capsulatus)* and other heterotrophic bacterias. *Soil Sci. & Plant Nutr. 11:74-77 e 78-83.*
80. **Kononova, M. M.** - 1961 - Soil organic matter. *Pergamon Press, London.*
81. **Kowal'ski, V. V.** e **S. V. Letunova,** - 1966 - Adaption of nitrogen fixing bacterias to the content and relation of Mo, V and Cu in soils. *Agrokhimiya, 7:73-92 (ref. CA. 67(7): 10988f).*
82. ----------, - 1966 - Lysogeny in *Rhizobium melilotti. Acta microbiol. Polonica. 15: 119-28.*
83. **Krasilnikov, N. A.** - 1958 - Soil microorganisms and higher plants. *A. N. S. S. S. R. Press, Moscow.*
84. **Kneuer, Ch.** - 1968 - Primeiros passos hacia un *fosfobactrin. Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 21-28.*
85. **Kretzel, Z.** - 1966 - Rhizosphere microorganisms as a factor of influencing resistance to plant infection. *Acta microbiol. Polonica, 15:163-72.*
86. **Last, F. T.** - 1955 - Seasonal incidence of *Sporobolomyces* in cereal leaves. *Trans. Brit. Mycol. Soc. 38:221-39.*
87. **Lochhead, A. G.; M. J. Timonin** e **P. M. West,** - 1940 - The microflore of the rhizosphere in relation to resistance of plants to soil-born pathogens. *Sci. Agric. 20:414-18.*
88. ----------, - 1958 - Soil bacteria and growth promoting substances. *Bact. Rev. 22: 145-53.*
89. **Louw, H. D.** e **D. M. Webley,** - 1958 - A plate method for estimating the numbers of phosphorus dissolving and acid producing bacterias in soil. *Nature, 182:1317.*
90. ---------- e ----------, - 1959 - The bacteriology of the root region of the oat plant grown under controlled plot culture conditions. *J. Appl. Bact. 22:216-18.*
91. **Lund, J. W. G.** - 1967 - Soil Algae, em **Burges, A.** e **F. Raw:** Soil Biology, *Academic Press, London. pp 129-98.*
92. **MaCauly Inst. f. Soil Research.** *Ann. Rep. Nº 41, p 57, 1971.*
93. **Mohr, E. C. J.** e **F. A. Baren,** - 1954 - Tropical Soils. *Interscience Publisher, New York.*
94. **Molina, J. S.** - 1968 - Fuentes de carbono utilizados por el *Azotobacter* en suelos alcalinos. *Labor. Invest. Agric. Bol. Tec. 1:1-129.*
95. ----------, - 1968 - La decomposición aeróbica de la cellulosa y la estructura activa de los suelos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 217-25.*
96. **Moore, A. W.** - 1960 - Symbiotic nitrogen fixation in a grazed tropical grass-legume pasture. *Nature, 185:638.*
97. **Morris, D. O.** - 1971 - Acid and alcali production by *Rhizobium. Rhiz. Newsletter, 16 (1):30-32.*

98. **Moskowetz, W. S.** - 1957 - Die Pilzmikroflora in der Rhizosphäre der Luzerne im Süden der ukrainischen SSR. *J. Mikrobiol. Akad. Wiss. Ukraine, SSR. 19:44-50.*
99. **Mulder, E. G.; T. A. Lie** e **J. W. Woldendorf,** - 1968 - Biology and soil fertility. *UNESCO, Rev. Soil Biol. IX:163-208.*
100. **Müller, G.** - 1956 - Untersuchungen über die Wechselbeziehungen zwischen Bodenleben und Standortsfaktoren der Futterpflanzen. *VI Cong. Int. Sci. Sol, Paris, III/6:29-37.*
101. **Naumann, K.** - 1971 - Dynamics of the soil microflora following the application of insecticides. VI: Trials with the insecticide gamma-BHC and Toxophene. *Pedobiologia, II(4):286-95.*
102. **Neves, M. C. P.; M. Nery** e **J. M. Day,** - 1976 - Efeito da temperatura na fixação de nitrogênio de estirpes de *Spirillum sp.* isoladas de *Digitaria sp* e milho. *An XV Congr. bras. ciênc. solo, Campinas, (1975), pp 143-49.*
103. **Nichols, V. O.** - 1960 - *Mycorrhiza* in the *Gramineae,* II: Development in different habitats, particulary in sand dunes. *Trans. brit. mycol. Soc. 39:233-38.*
104. **Osmori, M.** e **A. Hattori,** - 1972 - Heterocyst and nitrogen fixation in *Anabaena cylindrica. Int. Symp. Seaweed Res. Papporo, pp 589-601.*
105. **Panosyan, A. K.** e **K. Nikogasyan,** - 1966 - The presence of nitrogen fixers in lichens *Biol. Sh. Arm. 19:3-11.*
106. **Parker, C. A.** - 1968 - On the evolution of simbiosis in legumes. *H. Laurits Festskrift, 107-15.*
107. **Pauli, F. W.** - 1967 - Soil Fertility. *Hilger, London.*
108. **Pawlenko, W. P.** - 1969 - Einfluss einiger Pilzarten auf die Zusammensentzung nativer Mikroflora der Rhizosphäre und der wurzelnahen Zone des Winterweizens. *Mikrobil. 38:329-35.*
109. **Peive, J.; G. Zhiznewskaya** e **I. Tenisone,** - 1966 - Recent latvian studies on trace elements and legume productivity. *Rhiz. Newsletter, II(2): 176-79.*
110. **Pegg, G. F.** e **L. Sequeira,** - 1968 - Stimulation of aromatic biosynthesis in tobacco plants infected by *Pseudomona solanacearum. Phytopath. 58(4):476-83.*
111. **Pochon, J.** e **H. Barjac, de,** - 1958 - Traité de microbiologie des sols. *Dunod, Paris.*
112. **Pokorna-Kozova, J.** e **B. Noviak,** - 1971 - Effect of manuring and fertilizing on soil microflora: Studies about humus. *Trans.Int. Symp. Humus & Plants. V:81.*
113. **Primavesi, A. M.** - 1973 - Polígrafos de "Nutrição Vegetal" no *curso de Pós-graduação Biodin. Produt. Solo. Sta.Maria/RGS.*
114. ----------, - 1973 - Nitrogen increase in soil by semi-aerobic straw decomposition in presence of P and Ca. *Proc. Nat. Acad. Sci. India, 43 (A/1-2):162-69.*
115. ----------, - 1973 - Melhoramento da produtividade do solo por bactérias celulolíticas. *Relatório ao CNPq.*
116. **Rankow, V.** - 1971 - Effect of certain herbicides on soil celulose decomposing activity. *Pochvov. Agrokhimiya, 5(6):73-80.*
117. **Reese, E. T.** - 1968 - Microbial transformation of soil polysaccharides. *Scient. Varia, 32:535-77.*
118. **Richards, B. N.** - 1965 - *Mycorrhiza* development of lobolly pine seedlings in relation to soil reaction and the supply of nitrate. *Plant & Soil, 22:187-99.*
119. **Rivière, J.** - 1963 - Rhizosphère et croissance du blé. *Ann. Agron. 14:619-72.*
120. **Rovira, A. D.** - 1966 - A study of the development of the root surface microflora during initial stage of plant growth. *J. Appl. Bacter. 19(1):74-80.*
121. ----------, - 1955 - Factors influencing soil metabolism and the relationship between plant root and soil microorganisms. *Thesis, Univ. Sydney.*
122. ----------, - 1959 - Influence of plant species, age of plant, light and temperature and calcium nutrition on exudation. *Plant & Soil, 11:53-64.*
123. **Rouquerol, Th.** - 1962 - Sur les phenomènes de fixation de l'azote dans les rizières de la Camargues. *Ann. Agron. 13(4):325-31.*
124. **Ruinen, J.** - 1956 - Occurence of *Beijerinckia* species in the phyllosphere. *Nat.-, 177: 220-21.*
125. ----------, - 1965 - The phyllosphere. III: Nitrogen fixation in the phyllosphere. *Plant & Soil, 22:375-94.*
126. ----------, - 1966 - The phyllosphere. IV: cuticle decomposition by microorganisms in the phyllosphere. *Ann Inst. Pasteur, III (suppl. au Nº 3):342-46.*

127. **Rubin, B. A.** - 1956 - A simbiose trófica de microrganismos no rizoplano. *Ciência Sov. 2:64-65.*
128. **Ruschel, P. A. A. C. Mesquita Rocha** e **Figueredo Penteado,** - 1970 - Efeito de boro e molibdênio aplicado a diferentes revestimentos da semente de feijão *(phaseolus vulgaris). Pesq. agropec. bras. 5:49-52.*
129. **Sallans, B. J.** - 1965 - Root rots of cereals. *III? Bot. Rev. 31:505-36.*
130. **Sang. J. B. S. K. Hyun, E. W. Leil** e **W. Waternabe,** - 1970 - An observation on the effect of nitrogen fixing blue-green algae at acid soils of rice fields in Korea. *Int. Symp. Blue-green algae, Maebasi, pp 274-75.*
131. **Santoro T.** e **L. E. Casida,** - 1962 - Elaboration of antibiotica by *Boletus luteus* and certain other mycorrhizal fungi. *Canad. J. Microbiol. 8(1):43-48.*
132. **Schaffer, R.** - 1966 - Medio edáfico y biocenosis. *Monogr. I? Col. Latinonamer. Biol. Suelo pp 547-65.*
133. **Schaffer, F.** e **A. Klocke,** - 1954 - Der Einfluss von Antibiotika auf die Entwicklung und den Nährstoffgehalt von Kulturpflanzen. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 66(1):29-38.*
134. **Schenk, N.C.** - 1970 - Mycorrhizal fungi. *Res. Rep. Florida, 11:12-14.*
135. **Schlegel, H. G.** - 1968 - Mecanismos de controle regular das bactérias do solo. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 43-56.*
136. **Schreven, D. A.** - 1964 - Die Wirkung einiger Aktinomyceten auf *Rhizobium* und *Agrobacterium radiobacter. Plant & Soil, 21:283-302.*
137. **Schtina, E. A.** - 1964 - Uber die Rolle der Algen bei der Ansammlung von Stickstoff im Boden. *Agroknimiya, 77-88.*
138. **Soriano, S. M. Amor Asunción** e **M. Cusato,** - 1973 - Effecto de la decomposición anaeróbia de la paja de maiz en el suelo sobre el desarollo de bactérias assimbióticas, aeróbias, fijadores de nitrogeno atmosférico. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta.Maria.*
139. **Stevenson, C.** - 1969 - Fixation of nitrogen by non-nodulated seed plants. *Ann Bot. 23:622-35.*
140. **Steward, W. D. P.** - 1966 - Nitrogen fixation in plants. *Athlon Press, Univ. London. p 168.*
141. ---------- e **G. Bondy,** - 1961 - The effect of ammonium-nitrogen on the fixation of elementary nitrogen in *Alnus* and *Myrica. Plant & Soil, 14:347-59.*
142. **Stille, B.** - 1938 - Untersuchungen über die Bedeutung der Rhizosphäre. *Arch. Mikrobiol. 9:477-85.*
143. **Subbarao, N. S.** - 1970 - Rhizobium in relation to fungus from indian soils. *Rhiz.Newsletter, 12(3):204-06.*
144. **Szegi, J.** e **M. Rodrigues** - 1966 - Influência de los productos metabolicos de los hongos. *I Col. Latinamer. Suelo, Bahia Blanca, pp 573-87.*
145. **Tardieu, P.** - 1968 - Méthodologie générale et moderne en microbiologie du sol. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 67-73.*
146. **Timonin, M. J.** - 1940 - The interaction of higher plants and soil microorganisms. I: Microbial population of rhizosphere of seedlings of certain cultivated plants. *Canad. J. Res. 18:307-17.*
147. **Tomaselli, L.** e **G. Florenzani,** - 1971 - Heterotrophy and nitrogen fixation in several blue green algae from soil. *Zblt. Bakteriol. Paras. Infekt. Hig. 2 Abt. 126(4):420-24.*
148. **Trolldenier, G.** - 1970/71 - The influence of K and N nutrition of wheat on bacterial colonization of the rhizosphere. *Büntehofabstrakt, 18-20.*
149. ----------, - 1968 - Cereal diseases and plant nutrition. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, pp 509-19.*
150. **Uemura, S.** - 1970 - Non leguminose root nodules in Japan. *Rhiz. Newsletter, 15(2): 161-62.*
151. **Uziak, Z.** - 1964 - Utilization of inorganic and organic nitrogen by leguminose plants at various C/N ratios in the plant. *Ann. Univ. M. Curie-Sklodow, Lublin, Sect. E, 19: 163-87.*
152. **Vasantharajan, V. N.** e **J. V. Bhat,** - 1968 - Relation between microorganisms and mulberry. II. The microflora of the phyllosphere and the N-fixation on leaf and root surface. *Plant & Soil, 28:258-67.*
153. **Velasco, P. F. de** e **J. M. Lozano Calle,** - 1971 - Microbial activity of humus in the semi-arid soils. *An Edaf. y Agrobiol. 30(3-4). 231-41.*

154. **Vencata, R. C. S.** - 1960 - Foliar application of nutrients and rhizosphere microflora of *Camelia Sinensis. Nature, 187:621-22.*
155. **Verona, O. di** - 1966 - Microbiologia Agraria. *Torinense, Torino.*
156. **Vrany, J.** - 1968 - Reação da microflora da rizosfera após a aplicação de uréia e outras substâncias. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, pp 521-32.*
157. **Waksman, S. A.** - 1968 - Microbes, organic matter and soil fertility. *Scient. Varia, 32: 474-94.*
158. ----------, - 1927 - Principles of soil microbiology. *Williams & Wilkins, Baltimore.*
159. **Weinhard, P. J. Balandreau** e **G. Rinaud,** - 1971 - Non simbiotic nitrogen fixation in the rhizosphere of non-leguminose tropical plants. *Rev. Ecol. Biol. Sol, 8(3):367-73.*
160. **Webley, D. M.** e **o.** - 1965 - A study on polysaccharid producing organisms of the root zone of some forrage grasses, *J. Soil Sci. 16:149-57.*
161. **Welte, E** e **G. Trolldenier,** - 1961 - Der Einfluss der Wasserstoffionenkonzentration des Bodens auf den Rhizosphäreneffekt. *Naturwiss. 48(14):509.*
162. **Wernli, M. P.** - 1968 - Analisis microbiologico de la rizosfera de *Prosopis tamarugo Phil.* arbol de la pampa de Tamarugal, Chile. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, p 537-38.*
163. **Winogradsky, S.** - 1925 - Études sur la microbiologie du sol. *Ann. Inst. Pasteur, 39: 299-354.*
164. **Winter, A. G.** - 1951 - Untersuchungen über die Ökologie und den Massenwechsel bodenbewohnender mikroskopischer Pilze. *Arch. Mikrobiol. 16:136-42.*
165. **Sylvester, A.** - 1965 - Nitrogen enrichment of rice soils by blue-green algae, and its effect on the yield of paddy. *Proc. nat Acad. Sci. 35:382-86.*

Capítulo 7

LA BIOESTRUCTURA DEL SUELO

¿QUE ES BIOESTRUCTURA?

La bioestructura del suelo consiste en su *forma grumosa, estable al agua,* en la capa comprendida entre 0 y 20 cm de profundidad. Puede haber una buena agregación en la capa más baja, pero como ésta no es estable al agua, se deshace cuando entra en contacto con el agua de lluvia.

Los agregados de formación química son "agregados primarios" de los cuales, los microorganismos del suelo forman los "grumos" o "agregados secundarios" (1, 16, 18, 41, 71, 77), cuya estabilidad depende de la presencia de materia orgánica.

Entre nosotros, se denomina agregado a todo agrupamiento de partículas del suelo entre 0,5 y 5,0 mm de tamaño, independientemente de su densidad, porosidad y presencia de materia orgánica y microvida, tanto como de su estabilidad a la acción de las lluvias. Los ingleses y americanos distinguen entre *crumbs* o grumos, y *clods* o agregados del tipo terroncitos, estando la diferencia en su peso específico, o sea, en su densidad aparente, como será explicado más adelante (fig. 7-11).

Esta estructura, formada de grumos o agregados estables al agua, depende de coloides o "cola orgánica" producida por bacterias, de filamentos de algas y de hifas de hongos. Por lo tanto, es temporaria y depende de su periódica renovación.

El estado grumoso del suelo, estable al agua, en alemán se llama *Gare*, en inglés *tilth*, y **Primavesi** lo denominó en portugués *fofice* (floculado) (65). Los labradores del interior de Brasil (mestizos y mulatos) llaman a la tierra grumosa "gordura de la tierra", mientras que denominan "suelo frío" al subsuelo compactado.

Y como la bioestructura, hasta hoy, no fue considerada como factor de producción, y su manejo no fue incluido en el "paquete tecnológico", permanece el factor al mínimo que limita la producción agrícola brasileña.

Los incas cuentan: "El primer hombre que vino a la Tierra tomó a su mujer de la mano y caminaron con varas hasta que éstas se introdujeron en tierra blanda y esponjosa. Allí se detuvieron e hicieron su casa, fundando la ciudad santa de Cuzco". El conocimiento de que la tierra "fofa" es fértil y productiva es tan viejo como la historia de la agricultura. Desde que los hombres cultivan la tierra, procuran que ésta sea grumosa, y no importa si lo prueban con una vara o un caballo. Donde el trotar del caballo se volvía un ruido sordo, desmontaban y se quedaban, porque la tierra era buena (29). Sólo cuando el hombre montó en tractores, perdió el contacto con su tierra. Todavía notaba que la tierra virgen caía del arado como si fuese arroz, y la tierra vieja de cultivo caía en terrones grandes, que necesitaban ser deshechos. Veía las nubes de polvo que las máquinas provocaban, pero no pensaba en nada más que no fuese el dinero que pretendía ganar.

La tierra grumosa es porosa, permitiendo la rápida infiltración del agua, del aire, y la penetración de las raíces. Por eso se creó la expresión "fertilidad física", pues la fertilidad química, separadamente, no podría hacer producir al suelo (7, 23, 52, 86).

Se puede deducir del cuadro 3-3 que los macroporos constituyen el 35,5 de la "Terra Roxa" mezclada (Brasil); el 33,0 para la "Terra Roxa" legítima, y para la arenisca ("arenito") 16,6. Eso significa que la porosidad de una tierra virgen no depende de su granulometría, pero sí de sus grumos. La reducida capacidad del "arenito" en retener agua depende del hecho de que los granos de arena no tienen microporos y no pueden almacenar agua. Por otro lado la densidad aparente relativamente alta (1,35), ya indica un proceso de compactación, y por ello hay gran cantidad de poros capilares que se sitúan entre los granos pero no en los granos, como ocurre con los grumos (44, 60, 65, 85).

Cuanto mayor es la densidad aparente, tanto más compacto es el suelo.

La tierra compacta, aun si fuese arada dos veces y rastrillada otras tres, con rastra de discos recortados (para deshacer mejor los terrones y desmenuzarla), en fin, bien preparada, nunca produciría como antes de formar esos terrones (67). Cada lluvia, después de hecha la plantación, va "encostrando" la tierra, y un año lluvioso acaba endureciéndola, de manera que las plantas, a pesar de necesitar lluvia y resintiéndose con muy poco sol, no pueden absorber el agua y se pierde la cosecha. El efecto de los fertilizantes se torna cada vez menor, y las plagas y pestes se multiplican. Se llega hasta el absurdo de usar 0,5 kg de pesticida para cada kilogramo de soja producida, como ocurrió en una región de Rio Grande do Sul.

Y se puede afirmar: ¡los pueblos que no tratan adecuadamente a sus tierras tienen que tratar a sus cultivos con cantidades excesivas de defensivos! Mientras en Inglaterra se usan 10 g de defensivo por kg de soja producida, en los Estados Unidos se usan 20 g, y en Brasil hasta 500 g. La agricultura se torna insegura e ingrata y hasta peligrosa (24, 25).

¿Por qué?

Simplemente porque el suelo compactado permite sólo la proliferación de un gran número de insectos de unas pocas especies, como se explica en el capítulo 5. Donde aparece arena blanca en la superficie del terreno, es una señal de compactación y de peligro de pestes y plagas.

Se le llama *productivo* a un suelo que con suficiente agua y nutrientes es capaz de producir cosechas abundantes.

Donde hay torrentes que surcan los campos la fertilización no reacciona económicamente. No es porque el agua se haya llevado los fertilizantes, sino por la erosión que existe donde el suelo está encostrado, compactado o adensado en su capa superficial (65, 66). En este caso, la raíz no consigue aprovechar el fertilizante, ya sea por no alcanzarlo o por falta de agua en la capa no compactada, o por falta de oxígeno (ver capítulo 1), o por un recalentamiento del suelo (ver capítulo 2). Donde las termitas hacen sus nidos, la agricultura perdió su buena época.

Cuanto mayor es la infiltración de agua (ver fig. 9-8), tanto menor es la pérdida de tierra por escurrimiento de agua. La deficiente estructura de la superficie del suelo es el "cuello de botella" de nuestras cosechas, desde el momento en que el control de la fertilidad química se tornó un acto rutinario. Especialmente en las regiones tropicales donde, por razones explicadas en el capítulo 2, la raíz vegetal necesita explorar un espacio mayor de tierra, la formación de capas compactadas debido a la pérdida de grumosidad se vuelve un problema grave. La respuesta a la fertilización depende de la bioestructura del suelo, así como la susceptibilidad de las plantas a las oscilaciones climáticas, la frecuencia de plagas y pestes, y finalmente el lucro de la actividad agropecuaria (4, 11, 13, 23, 30, 37, 63, 65, 77, 88, 92, 96, 100).

Existen todavía muchos que dudan de tener un cultivo que sea realmente negativo sobre las condiciones físicas del suelo, causando su compactación. Esta duda tendría razón de ser si la física estuviese restringida a la granulometría. Sin embargo, como la física en gran parte depende de la bioestructura, el efecto sobre la porosidad del suelo puede ser drástico (9, 11, 12, 14, 26, 34, 46, 47). En la figura 7-1 se muestra el efecto del cultivo sobre la conductividad hidráulica, presentando un suelo virgen y uno cultivado desde hace 50 años. Este último, en la capa superficial, prácticamente no posee conductividad hidráulica.

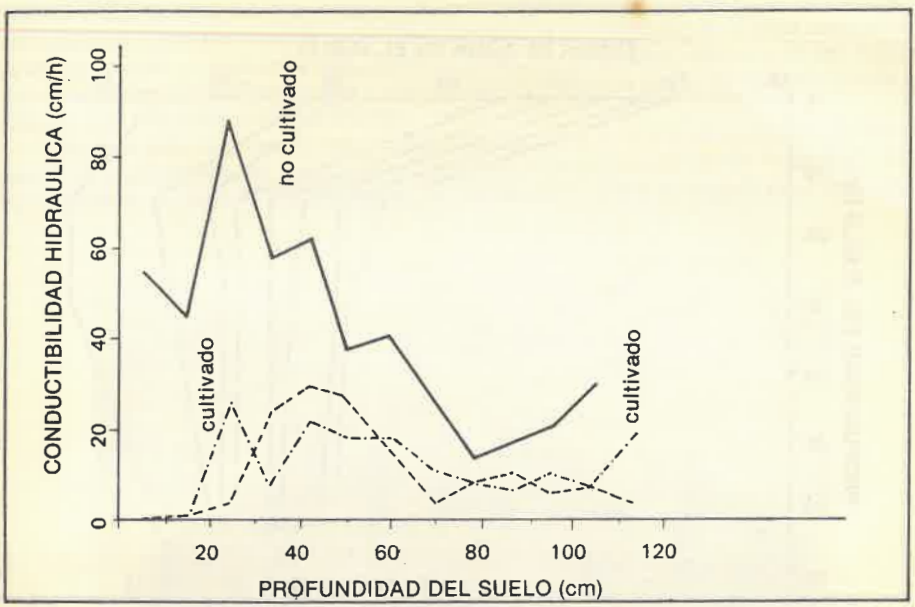


Fig. 7.1 *Variación de los valores de conductibilidad hidráulica (K), en función de la profundidad del suelo (***Corsini,** *1974).*

El escurrimiento de agua en un suelo como éste es pronunciado, ya que la permeabilidad es muy reducida.

El problema de la pérdida de la macroporosidad, como fue tratado en el capítulo 1, no sólo restringe gran parte de la infiltración de agua, sino que también atrasa su drenaje, priva a las raíces de oxígeno y constituye una barrera física para su expansión (31, 36, 63, 70, 88, 90, 96, 99).

Generalmente la deficiencia de agua es mayor en la capa superficial del suelo, a la cual la raíz permanece confinada debido a no poder penetrar por las capas compactadas a poca profundidad (33, 66, 88).

La reacción más acertada es hacer que la raíz crezca hasta mayores profundidades, y eso sólo puede producirse si el suelo está poco o nada compactado (3).

En la figura 7-2 se muestra el efecto de dos semanas de sequía sobre un suelo cercano a Brasilia. Durante la primera semana después de la lluvia, el terreno pierde rápidamente el agua de la capa superficial, hasta aproximadamente 23 cm de profundidad. Debajo, la humedad permanece más elevada.

Si la raíz consigue explorar el suelo hasta mayores profundidades, difícilmente sufrirá con la distribución irregular de las lluvias. Y esta penetración depende, como la del agua, de la bioestructura (8, 24, 25, 62, 72, 81).

POROSIDAD DEL SUELO

Todos sabemos que entre los granos de trigo o arroz existen intersticios relativamente grandes. Si se derramara agua por encima de estos granos, desaparecería rápidamente, infiltrándose por los "poros". Pero si el trigo estuviese molido como harina, existirían únicamente espacios minúsculos entre los granos, y si el agua se derramara sobre ella, hará un pozo, penetrará lentamente, y no la mojará toda.

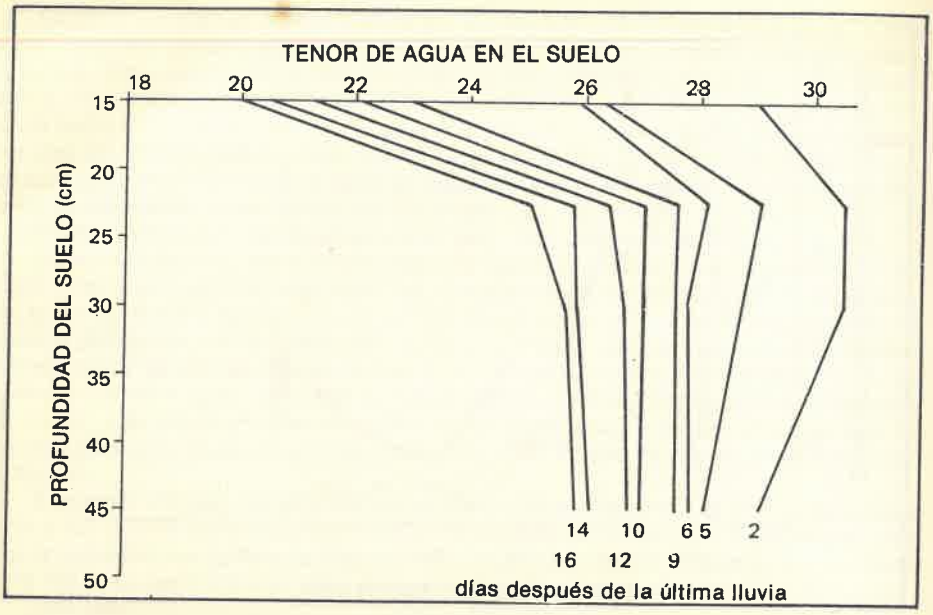


Fig. 7.2 *Disminución del tenor en agua en un suelo descubierto durante dos semanas sin lluvia, en la estación de las aguas de 1974/75 (***Bandy** y **Musgrave,** *1975).*

Un suelo grumoso, bien agregado, es semejante al trigo en grano, con muchos macroporos en que circula el aire, se infiltra el agua que se drena por fuerza de la propia gravedad y avanzan las raíces. Pero si los grumos se deshicieran el suelo sería como la harina: le faltarían los macroporos. Los microporos predominarían y, consecuentemente, faltará agua, aire, y la posibilidad de penetración radicular (30, 50).

El cuadro 7-1 muestra esa modificación, es decir, la pérdida de macroporos y el aumento de microporos en una compactación, donde el suelo elegido ya no es más grumoso, sino compactado.

Cuadro 7.1 *Características de una compactación (***Oliveira, L. B. de,** *1968)*

Profundidad en cm	*Densidad aparente g/cm³*	*microporos %*	*macroporos %*	*coeficiente de permeabilidad*	*arena gruesa %*	*fina %*	*azotobacter en 100 mg × 10*
0 - 8	1,47	17,6	22,8	21,50	55	30	12,0
8 - 10	1,65	17,4	19,1	12,00	49	32	28,0
10 - 24	1,65	22,7	11,9	3,80	44	29	5,0
24 - 32	1,59	25,4	9,2	2,05	33	35	16,0
32 - 40	1,59	27,8	6,8	1,47	31	34	14,3
40 - 48	1,56	27,3	8,6	1,39	41	25	—

Se comprueba que a 8 cm de profundidad, la densidad del suelo alcanza un nivel que se torna imposible de atravesar para la mayoría de las raíces, para las que una densidad aparente de 1,6 es tomada como límite. En esta capa se inicia la disminución de los macro-

poros y el aumento de los microporos, que se torna drástico en la capa entre 24 y 40 cm de profundidad. Como se trata de un terreno arenoso, la profundidad de la capa compactada es mayor que en un suelo arcilloso, donde se sitúa, por lo general, entre 6 y 25 cm. Esto se debe a la manera de sedimentación y obstrucción de los poros por la arena fina o por la arcilla, lo que será tratado más adelante.

Por otro lado, se muestra que un suelo arenoso, con un 85 % de arena, puede ser tan duro como una arcilla, de modo que suelo arenoso no es garantía de ser "blando", y eso sin considerar siquiera la posibilidad de su vitrificación, como se explicó en el capítulo 3.

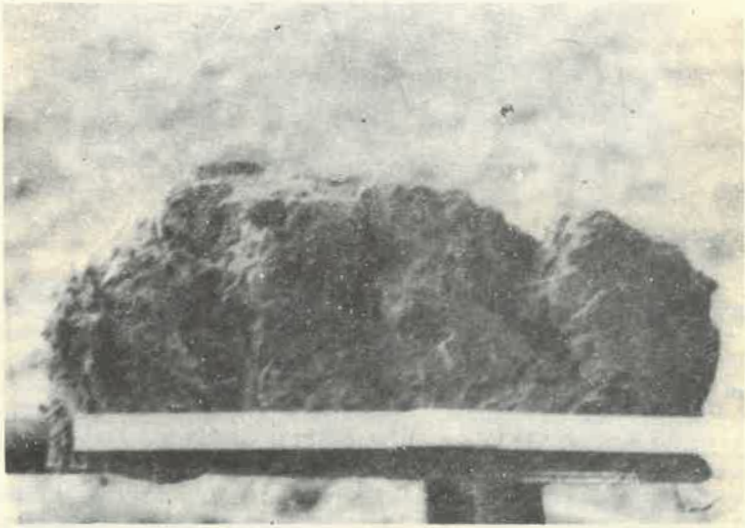


Fig. 7.3 *Suelo grumoso extraído con una pala.*

Debido al cultivo, siempre sobreviene una degradación de la estructura del suelo (46). Los agregados o grumos se tornan inestables al agua y en el subsuelo o en la superficie se forma una capa compactada. Existen suelos en que la estabilidad de los grumos es grande, como en la "Terra Roxa" legítima; pero hay otros donde es muy pequeña, especialmente en los suelos arenosos. Una compactación en estos suelos se puede determinar fácilmente sacando un "palada" de tierra, como muestra la figura 7-3.

Esta "palada" fácilmente se deshace, cayendo de la pala. Donde hubiere la menor modificación de la bioestructura, el suelo presentará una rajadura. Sólo las raíces consiguen mantener la tierra ligada, que es grumosa, y por ello, muy suelta aunque se trate de arcilla.

Tomando una delgada "lámina" de esta tierra y examinándola bajo el microscopio (aumento de 40 x), como muestra la figura 7-4, se evidenciarán muchas áreas claras, que son los espacios porosos. Las partes oscuras son los minerales y la materia orgánica. La gran cantidad de poros hace que el suelo sea leve, con poco peso específico (entre 0,9 y 1,2 g/cm^3).

Este suelo reacciona en forma óptima a una fertilización, conserva la suficiente agua para poder pasar períodos secos, y tiene bastante aire como para permitir un metabolismo activo de los vegetales y un abundante enraizamiento. Un suelo compactado —considerado como tal el que tiene un peso específico encima de 1,35— mostrará un solo bloque al sacar una "palada", como muestra la figura 7-5. No hay rajaduras, y cuando se quiebra cae en terrones como piedras.

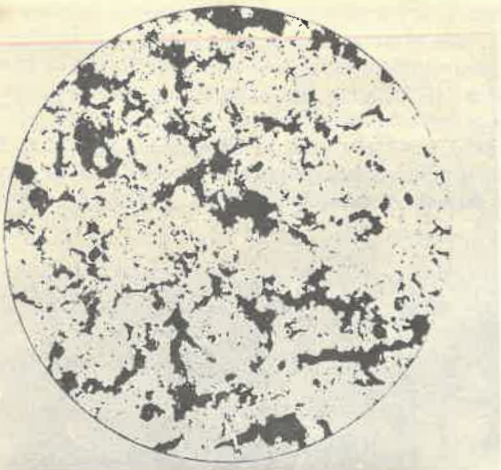


Fig. 7.4 *Lámina delgada de un suelo grumoso.*

En una lámina delgada bajo el microscopio no se observan espacios claros grandes, sólo espacios claros muy pequeños, o sea, microporos, por donde el aire no circula y en los cuales la penetración de agua es muy difícil. Por otra parte, no hay drenaje por gravedad.

En un suelo como se muestra en la figura 7-5, el fertilizante ya no actúa más satisfactoriamente, y muchas veces no produce reacción alguna. Los cultivos se desarrollan mal y las plagas y pestes proliferan. Los "riesgos climáticos" se vuelven muy grandes; falta la bioestructura activa (5, 58, 64).

Las cosechas disminuirán a pesar de la fertilización. La cantidad de agregados estables al agua es demasiado pequeña para garantizar un desarrollo satisfactorio de las plantas (8, 37, 62, 72).

Lo que hace producir el suelo es la bioestructura. Está formada por grumos de 0,5 a 2,0 mm de diámetro, estables al agua. Depende íntimamente de la materia orgánica y de la vida en el suelo. Tanto la micro, meso y macrofauna como los microorganismos y las raíces de las plantas superiores influyen sobre los grumos o agregados (15, 25, 40, 59, 68, 76).

LA RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS Y EL EFECTO DE LA ESTRUCTURA GRUMOSA

Antiguamente se creía que la estructura del suelo era una propiedad de las arcillas. Se le atribuía a la estructura del suelo la agregación química (agregados primarios), que en síntesis actuaba como muestra la figura 7-7. Las valencias negativas de las arcillas atraían a las positivas de los iones adsorbidos y las partículas se floculaban formando agregados.

Pero se consideraba estructura especialmente a la manera con que las arcillas se expandían al humedecerse, y se contraían cuando se secaban. Se llamó estructura a las formas de rajaduras y resquebrajamientos así producidos, como estructura en bloques, columnar, laminar, granular, etc. (20). Sin embargo, no se consideró que este movimiento de expandirse y contraerse produciendo rajaduras ocurre únicamente cuando la arcilla está completamente dispersada, sin agregación alguna y sin un tenor adecuado en materia orgánica. En esa condición, los granos ultrafinos de la arcilla se embeben con agua y se hinchan, ocupando más espacio, al secarse nuevamente vuelven a su tamaño original, y el espacio antes ocupado por el grano húmedo queda libre. Como la arcilla no se asienta simplemente, no se separa porque hay adhesión entre sus partículas, se forman rajaduras y hendiduras,

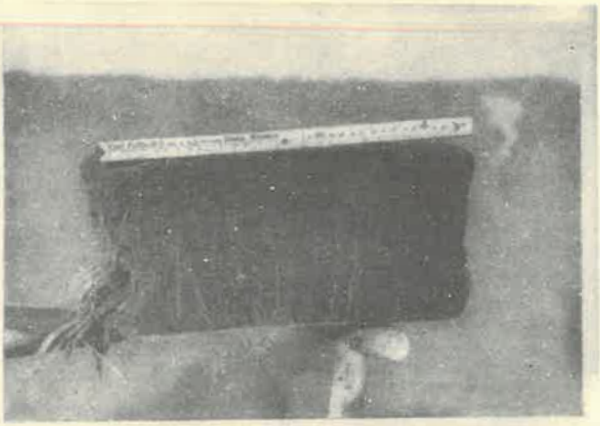


Fig. 7.5 *Bloque de tierra adensada sacada con una pala.*

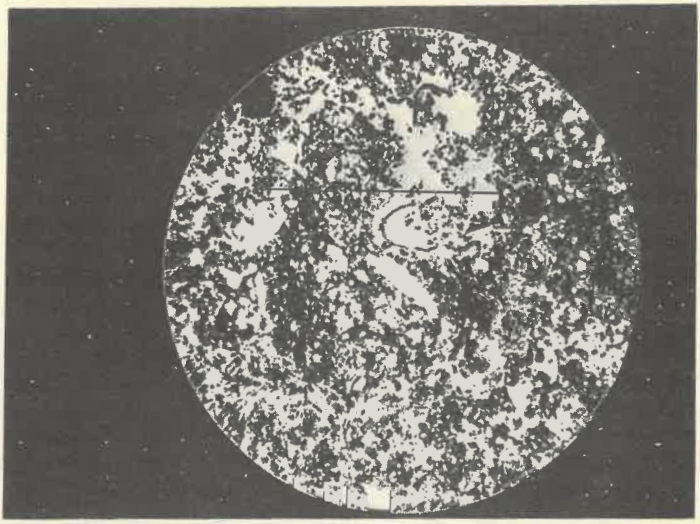


Fig. 7.6 *Lámina delgada de un suelo adensado.*

componiéndose así gránulos, bloques, columnas o láminas de tamaño y formas diferentes, lo que en parte depende de la calidad de la arcilla presente y en parte, de los cationes adheridos a la arcilla.

Encontramos campos agrícolas intensamente rajados, como muestra la figura 7-8. Se dice que es la sequía, sin embargo el suelo puede rajarse de la misma forma cuando todavía existe humedad, como se ve en la figura 9-57.

¡Ninguna sequía podría rajar el suelo si éste tuviera una estructura grumosa! En ella, la arcilla al hincharse solamente ocupa parte de los macroporos, y al contraerse los desocupa nuevamente. Por lo anterior, el suelo que se raja tiene su productividad seriamente comprometida, por no poseer macroporos (46, 62, 67, 68, 84, 85).

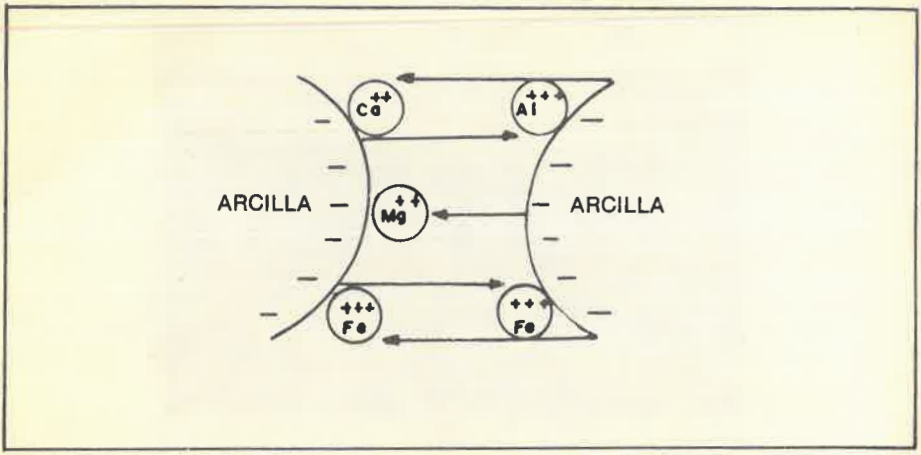


Fig. 7.7 *Esquema de atracción de dos granos de arcilla a través de los iones adsorbidos.*

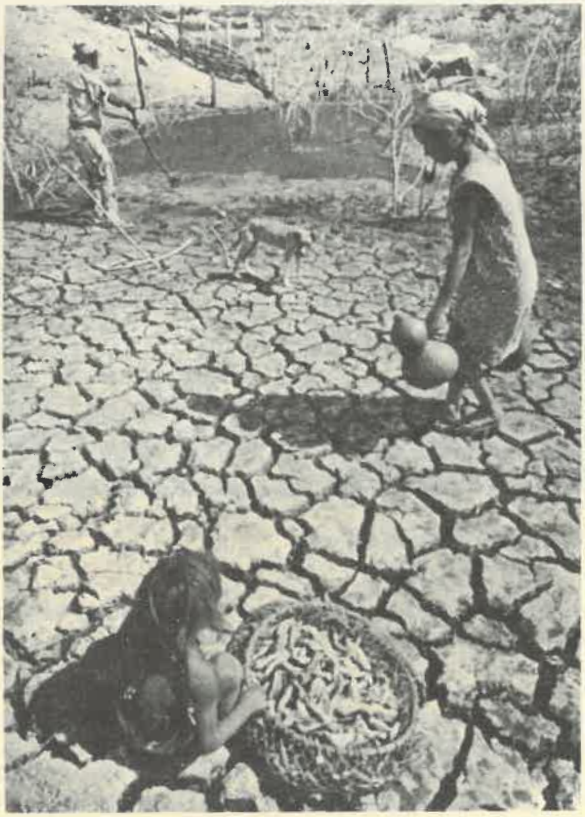


Fig. 7.8 *Tierra agrícola rajada; al fondo un campo pastoril.*

Un suelo grumoso, puesto en una placa de Petri con agua, se presenta como en la figura 7-9. No existen partículas de arcilla o arena que se hayan dispersado. Toda la tierra está floculada. Los agregados resisten la acción del agua. Se sabe que la mejor estructura grumosa se encuentra en los suelos pastoriles, y entre ellos, especialmente en las praderas dedicadas a la producción de heno, debido a la acción favorable de las raíces de los pastos. En la selva la estructura no es mejor, aunque la protección de la superficie del suelo es superior, como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 7.2 *Efecto del tipo de cobertura vegetal sobre las pérdidas por erosión. (Datos promedio de los diversos suelos del Estado)* **(Fuente: Secret. de Agricultura de S. P.,** *1978)*

Tipo de cobertura	*Perdidas de* tierra t/ha	agua en % de lluvia
selva	0,004	0,7
pastura	0,4	0,7
cafetal	0,9	1,1
algodonal	26,6	7,2

Donde la infiltración es mayor, la pérdida es menor. La infiltración del agua depende de los macroporos en la superficie del suelo, o sea, de su estructura grumosa (49, 50).

En la figura 7-10 se presenta un suelo que no resistió la acción del agua, deshaciéndose casi completamente. Este suelo forma una costra superficial después de la primera lluvia e inmediatamente forma una capa compactada subsuperficial, como consecuencia de la arcilla arrastrada hacia adentro del suelo que obtura sus poros (2, 49, 50, 65).

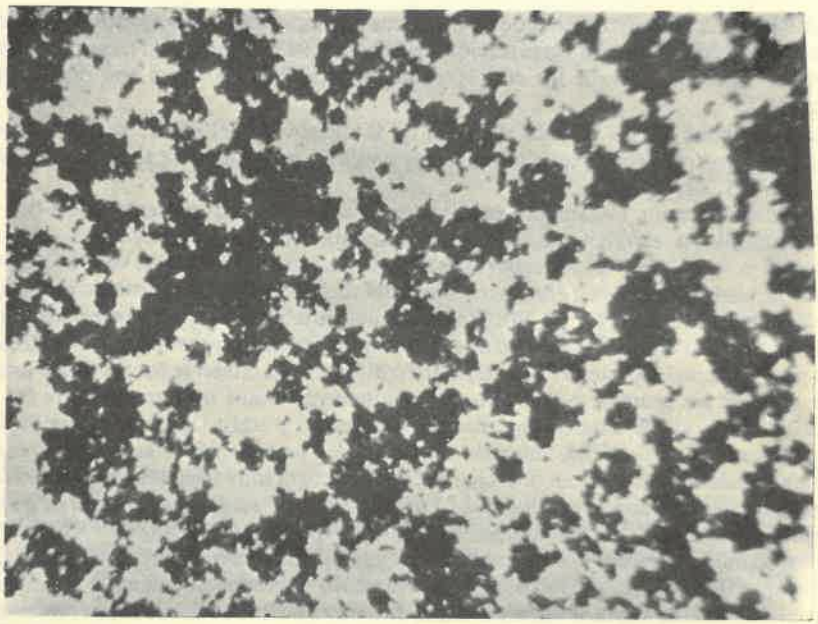


Fig. 7.9 *Un suelo grumoso en contacto con el agua permanece floculado.*

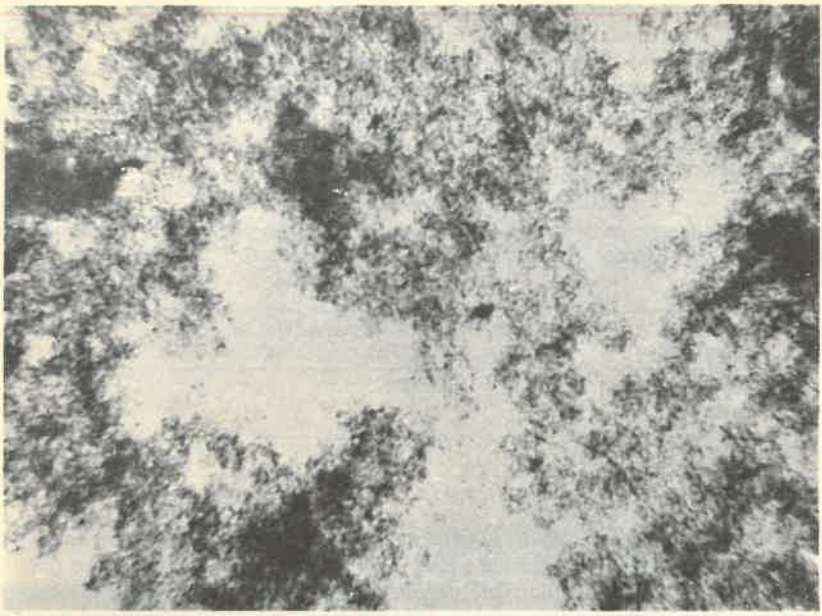


Fig. 7.10 *Un suelo compactado, quebrado en agregados de 2 mm no resiste la acción del agua deshaciéndose completamente.*

Existen varias clasificaciones de la estabilidad al agua de los agregados del suelo. Seguidamente presentaremos la clasificación de **Sekera** (1943) (figura 7-11), que tiene mucha semejanza con otras, ya que los conceptos sobre estabilidad al agua son prácticamente idénticos.

La estabilidad de los grumos depende de la microvida del suelo. Y como no existe microvida heterótrofa sin materia orgánica, ésta es indispensable para el mantenimiento de los grumos (13, 21, 29, 80, 85).

Se debe distinguir claramente entre grumos con densidad aparente entre 0,9 y 1,3 g/cm^3, y gránulos o terroncitos con densidad aparente entre 1,35 y 1,65 y hasta 1,90 g/cm^3. La estructura "granular" producida al deshacerse los terrones mayores, vueltos a la superficie por la arada que quiebra compactaciones del suelo, puede estar formada por gránulos de 2 a 20 cm de diámetro (20, 32, 34). Si la máquina agrícola es muy eficiente no se forman, pues son reducidos a polvo. *¡Pero no es el polvo ni los gránulos grandes y densos lo que hace producir al suelo!* Aparte del peso específico diferente, también la forma de los gránulos difiere de la de los grumos. Los *grumos*, generalmente, tienen un tamaño entre 0,5 y 2,0 mm de diámetro, siempre tienen los bordes redondeados y están traspasados por gran cantidad de microporos. En tierra húmeda, donde pueden pegarse y formar terrones mayores, al quebrarlos siempre presentan una apariencia de ruptura muy irregular, llena de protuberancias redondeadas. *Son el producto del "agrupamiento" biológico, y nunca de desterronamiento mecánico* (4, 29, 68).

Los gránulos o terroncitos no estables en agua pueden tener un tamaño entre 0,2 y 2,0 mm, siempre tienen bordes (cantos) agudos, no tienen microporos, y cuando se los quiebra muestran una fase de ruptura recta y lisa (15, 16, 84, 85). Por eso se distingue entre los grumos y los terroncitos o gránulos. En la figura 7-12 se presenta, de manera esquematizada, la diferencia entre grumos y gránulos.

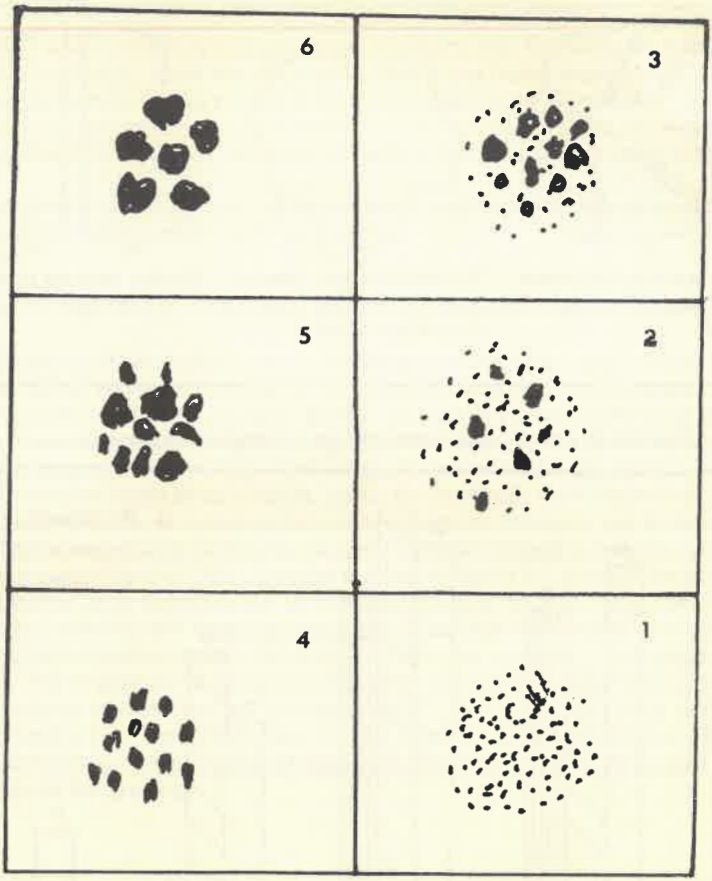


Fig. 7.11 *Clasificación de los agregados del suelo según su estabilidad al agua* (**Sekera**, *1943*).

Los grumos puestos en agua se conservan o deshacen según su estabilidad.
1. todos los grumos deshechos; 2. existen algunos fragmentos de grumos intactos; 3. existen todavía algunos grumos intactos; 4. casi todos los grumos quebrados, pero ninguno deshecho; 5. parte de los grumos quebrados; 6. todos los grumos intactos (perfecta estabilidad al agua).

Los grumos siempre son el producto final de la agregación química y biológica (71), y los gránulos son el producto del desterronamiento mecánico de compactaciones (19). Los grumos son estables al agua y por lo tanto no se desmoronan con la lluvia, especialmente cuando están protegidos con una cobertura muerta o por la vegetación. Los gránulos o terroncitos se deshacen en contacto con el agua, aun cuando están protegidos, formando costras superficiales y capas compactadas subsuperficiales.

En años relativamente secos, con lluvias "mansas" y bien distribuidas, los suelos compactados, bien preparados, pueden dar buenas cosechas, ya que las lluvias no conseguirán

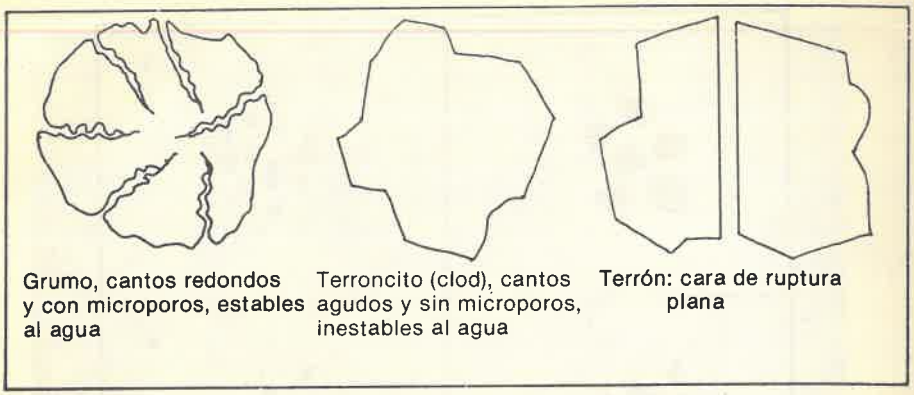


Fig. 7.12 *Esquema de diferenciación entre grumos y gránulos o terroncitos.*

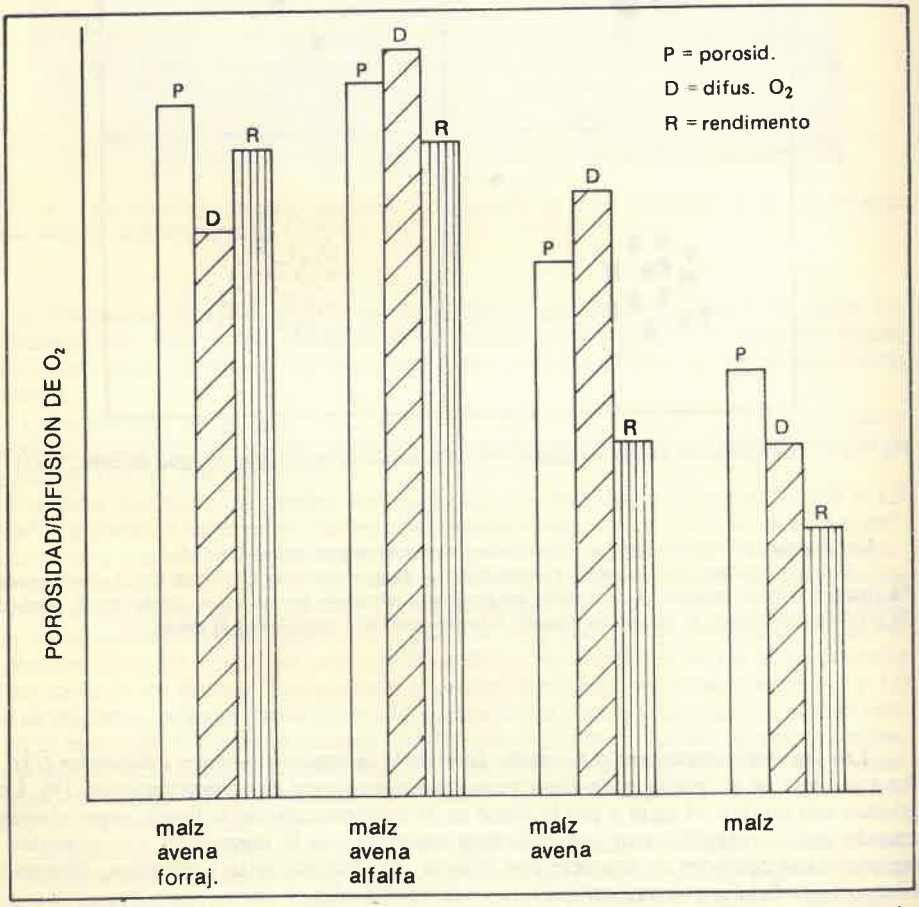


Fig. 7.13 *Rendimiento del cultivo de maíz, dependiendo de la porosidad y de la difusión del oxígeno en el suelo (***Blake** *y* **Page,** *1948).*

deshacer todos los gránulos, manteniéndose el suelo "abierto". Por eso existe la creencia de que cada 7 años habrá una cosecha buena. En años más lluviosos, en especial cuando hay lluvias torrenciales, desde las primeras se forma una costra superficial "cerrando" el suelo contra la entrada de aire y agua. E inmediatamente se va formando una "laja" o capa impermeable subsuperficial. Las cosechas serán bajas (11, 13, 26, 51, 62).

Se muestra en la figura 7-13 el efecto de la falta de oxígeno en el suelo, sobre el cultivo de maíz.

Se comprende, entonces, que una costra superficial impermeable, ya es suficiente para bajar el rendimiento del cultivo y de la cosecha.

ESTABILIZACION Y PROTECCION DE LOS GRUMOS O AGREGADOS

Para formar grumos estables a la acción del agua se necesita materia orgánica y microorganismos. Estos, en la descomposición de material celulósico, producen una "jalea bacteriana", los ácidos poliurónicos, que "pegan" los agregados formando grumos. Las bacterias más eficientes son los *Cytophaga* y *Sporocytophaga* (71, 77), bacterias aerobias, que cuando están bien nutridas pueden producir grandes cantidades de "cola". No depende tanto de su cantidad como de su eficacia, como fue explicado en el capítulo 6. Sin embargo, para formar grumos, se necesitan encontrar agregados formados por atracción electroquímica. De estos agregados primarios pueden formarse agregados mayores por la acción de los grupos carboxílicos ($COOH^-$), como muestra la figura 4-5 y donde los grumos orgánicos, originarios de la humificación de materia orgánica, actúan como "puentes" entre los agregados formados por atracción electroquímica. Así se forma un complejo arcillo-humoso de difícil descomposición. Sin embargo, sólo una parte de los agregados se forman en esta base. Por lo general los agregados primarios y en parte los arcillo-húmicos son "pegados" a unidades mayores por la "cola bacteriana". Esta, como es azúcar ácido, sirve de alimento a hongos y actinomicetos, que con sus hifas envuelven los grumos y los entrelazan, confiriéndoles así la estabilidad al agua (85). En parte también participan algas en la estabilización de los grumos.

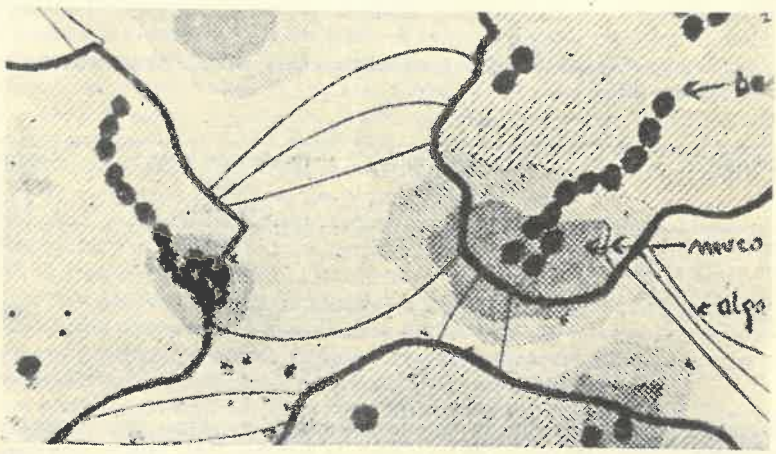


Fig. 7.14 *Esquema de estabilización de grumos.*

En la figura 7-14 se muestra un esquema de estabilización de grumos que puede ser observado en cualquier microscopio. También la trama de los hilos de hongos se puede comprobar con facilidad cuando bajo un microscopio se dejan caer gotas de agua a un grumo. Este, con el tiempo, queda más suelto, pudiéndose así observar una trama de hilitos que enlazan las partículas minerales y orgánicas.

Pero, cuando se terminan los ácidos poliurónicos, las hifas de los hongos mueren y los grumos pierden su estabilidad. La protección de la superficie del suelo puede amparar a los grumos por algún tiempo más, pero la reposición de la materia orgánica es imprescindible (5, 17, 58).

Para la estabilización de los grumos no sirve el abono verde, sino únicamente el material celulósico como paja, hojas muertas, puntas de caña de azúcar, bagazo, cáscaras de café, etc. (46, 54, 78, 95).

Pero es imprescindible que:

1. esta materia orgánica sea incorporada sólo superficialmente, como máximo hasta 8 cm de profundidad, y que permanezca en gran parte fuera de la tierra, porque los microorganismos que la deben descomponer son aerobios. Una descomposición anaerobia no beneficia a los grumos ni su estabilidad (58, 71, 78);
2. se adicionen los nutrientes minerales que faltaran en el suelo, y que las bacterias necesitan para vivir. Estos nutrientes son especialmente fósforo y calcio, además de micronutrientes y a veces potasio, según el suelo y su riqueza mineral (ver capítulo 6).

La innovación en la aplicación de la materia orgánica madura es que no sea enterrada con un arado, sino con una rastra, y que los 2/3 de la fertilización destinada al cultivo se den a las bacterias que descomponen la materia orgánica. Fertilizando a las bacterias el cultivo se beneficia dos veces:

a) por la bioestructura grumosa,
b) por la presencia de los nutrientes en forma orgánica.

La idea de que la paja perjudicaría el cultivo es incorrecta. Lo perjudica sólo cuando es enterrada en profundidad, pero no cuando se la incorpora superficialmente, como muestran muchos trabajos, en especial los de **Dhar** (1972), y como será explicado en el capítulo 10.

En el cuadro 7-3 se presenta un ensayo con paja colocada inmediatamente antes de la plantación.

Cuadro 7.3 *Incorporación superficial de paja inmediatamente antes de la plantación (en el cultivo de porotos)* (**Miyasaka**, *1966)*

Tratamiento	*Agua disponible en el suelo* %	*Producción masa vegetal kg/ha*	*Rendimiento en granos kg/ha*
testimonio	0,8	4.000	154
"capim gordura" seco *(Melinis minutiflora)*	1,8	4.500	321
soja perenne seca	1,8	6.070	625

Generalmente, cuando se trae la materia orgánica de otro lugar, ocurre una compactación indeseable debido a las ruedas de las máquinas distribuidoras, que resulta negativa para la cosecha. El mejor método siempre será la utilización integral de los restos del cultivo anterior.

Pero el problema no es sólo la formación de los grumos, también es importante su conservación y, para ello, su protección (100).

Como ya se dijo, su estabilidad al agua es temporaria y puede ser prolongada mediante una protección de la superficie de la tierra. Es más: esta protección se hace indispensable, ya que ningún grumo soporta las lluvias torrenciales de los trópicos. Una "cobertura muerta" en la estación de sequía y una "cobertura viva" o "cultivo protector" en la estación de las aguas son indispensables para el mantenimiento de una capa grumosa en la superficie del suelo. En el cuadro 7-4 se muestra el efecto de una "cobertura muerta" en un naranjal

Cuadro 7.4 *Efecto de la materia orgánica en el cultivo de naranjales (***Gallo,** *1960)*

Tratamiento	*Cosecha en kg/ha (promedio de 4 años)*
herbicida	2.606
cobertura muerta (pastos)	5.357
abono verde (mucuna)	3.897
abono verde (guandú)	3.176
dos aradas (para limpieza)	3.051

Obs.: En la cobertura muerta bajó el nivel de N en las hojas, pero aumentó el de Ca, P y Mg.

Es evidente que el abono verde, aunque constituya una fertilización nitrogenada, no aumentó la cosecha por encima del efecto de un aflojamiento del suelo. Lo que faltó, en primer lugar, fue oxígeno en el suelo. Cuando esto falta, generalmente las plantas acusan la deficiencia de casi todos los nutrientes, debido a la dificultad de absorberlos, y un metabolismo reducido (ver capítulo 1).

La cobertura muerta aumentó sustancialmente la cosecha, porque protegió la superficie del suelo y la mantuvo "abierta" para el aire y el agua.

El efecto de la materia orgánica no reside tanto en la liberación de nutrientes, como también en el mantenimiento de una microvida heterótrofa y de la bioestructura (25, 85) (ver capítulo 6).

La relación íntima entre la materia orgánica y los grumos se comprueba en la figura 7-15, que muestra la correlación negativa entre el tenor en materia orgánica y la cantidad de grumos estables. Esto ocurrió en este caso, porque se adjuntó paja al suelo. Donde la descomposición de la materia orgánica fue más rápida, la formación de grumos estables al agua fue mayor. Y donde se presentó mayor cantidad de materia orgánica, como por ejemplo en los tratamientos 1 y 7, la cantidad de grumos estables era menor. *La estabilidad de los grumos no depende, pues, de la existencia de materia orgánica en el suelo, sino de que ésta sea descompuesta por bacterias aerobias* (58, 69, 78).

Después de 3 o 4 meses (ver capítulo 4), la materia orgánica adicionada generalmente desaparece de los suelos agrícolas, como muestra la figura 4-4. En los suelos pastoriles bien manejados, la grumosidad aumenta con el transcurso del tiempo (12, 13). Esto se debe al hecho de que las raíces de los pastos producen permanentemente radículas nuevas, que después de poco tiempo mueren y excretan ácidos poliurónicos que, en las condiciones semiaerobias del suelo pastoril, son descompuestos por actinomicetos. Estos son conocidos como los más eficientes estabilizadores de grumos (95) (ver capítulo 6).

Por eso los pastos son considerados como los mejores renovadores de la bioestructura, y por consiguiente, de la productividad del suelo (ver capítulo 10). *Surge ahora una visión diferente de la materia orgánica: no es la proveedora preferencial de nitrógeno orgánico, pero es el eje de la formación de los grumos y de la bioestructura, sin el cual no existe productividad del suelo.* Por lo tanto, el mantenimiento de un tenor elevado en materia orgáni-

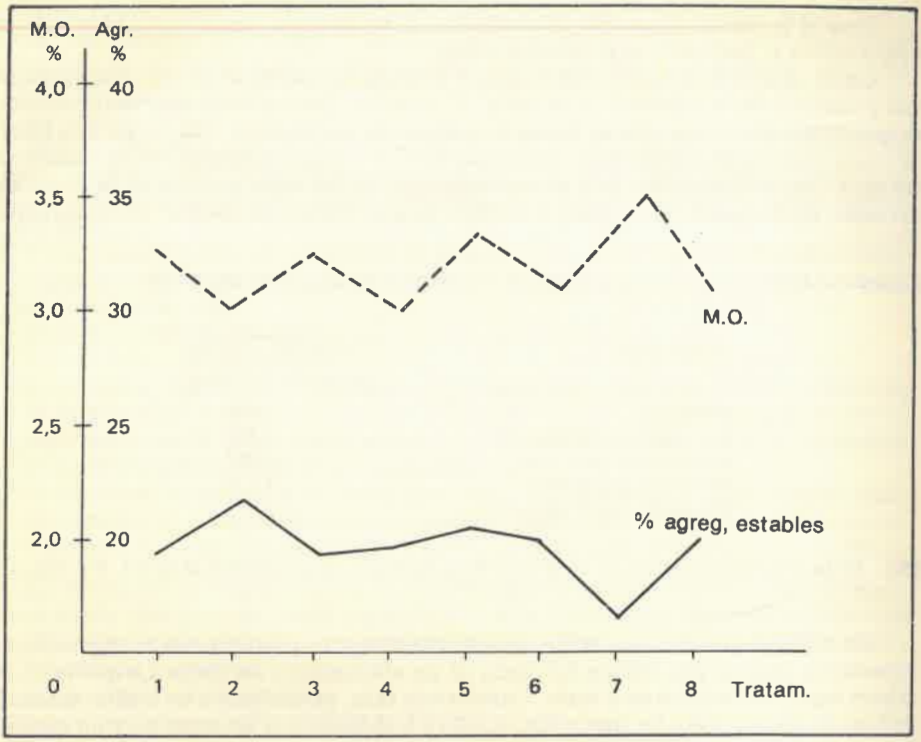


Fig. 7.15 *Correlación negativa entre el tenor en materia orgánica y la cantidad de agregados, estables al agua, en un suelo franco-arenoso* (**Primavesi**, *1973*).

ca no interesa tanto como su descomposición dirigida, que a la vez exige una reposición frecuente.

El encalado, que generalmente contribuye para la descomposición de materia orgánica, ejerce un efecto muy grande en suelos recién comenzados a cultivar, no sólo por elevar el pH y eliminar el aluminio intercambiable o por liberar los nutrientes contenidos en la materia orgánica, sino por contribuir a una bioestructura favorable y, por lo mismo, a una mejor nutrición vegetal (16, 80, 84). Pero, por otra parte, el encalado también contribuye para que decaiga la productividad cuando no se hace la reposición de la materia orgánica en el suelo.

Antiguamente se creía que el encalado sería un agente infalible de agregación. En clima templado, donde predominan las arcillas 2:1, el calcio, de hecho, es el agente agregante para los agregados primarios (20, 81, 91). En los suelos tropicales con elevado tenor en cationes trivalentes, como aluminio y hierro, el efecto agregante del encalado es poco notable (1, 18, 21, 41). Lo que más importa son los agregantes orgánicos (40, 59, 71, 77) y los cationes trivalentes (16, 18, 21, 41).

Resumen

La productividad del suelo depende no solamente de nutrientes suficientes, sino también de un sistema poroso adecuado en la "capa arable" del suelo. Este sistema no se forma gracias a la granulometría de la parte mineral, sino especialmente gracias a la formación de grumos de tamaño entre 0,9 y 1,3 g/cm^3. Lo importante de estos grumos es que resistan

la acción de las gotas de lluvia (sean estables al agua). En el momento en que se pierde esta estabilidad al agua, se forman costras superficiales y compactaciones subsuperficiales.

La estabilidad de los grumos depende de la acción biológica, o sea, de bacterias celulolíticas, hongos y actinomicetos y también de algas. Para que la microvida sea activa se necesita materia orgánica. Por lo tanto, la bioestructura tiene que ser periódicamente renovada por medio de la incorporación superficial de materia orgánica y de los nutrientes indispensables a la actividad de las bacterias *Cytophaga*.

Las leguminosas, pero especialmente los pastos, contribuyen a la conservación de la bioestructura (98). Las primeras, principalmente, proveen de nitrógeno y movilizan fósforo (8).

La estabilidad de la bioestructura es pasajera y depende:

1. de la saturación del complejo de cambio con cationes bi y trivalentes;
2. de la presencia de material celulósico en descomposición;
3. de la actividad microorgánica del suelo.

De la estabilidad de la bioestructura depende la infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo, la ventilación y la disponibilidad de oxígeno para la raíz y el metabolismo vegetal (ver capítulo 1) y la expansión de la raíz que, con el mayor volumen de suelo explorado, encuentra mayor cantidad de nutrientes disponibles, aparte de los productos orgánicos. La planta se nutre mejor y es más resistente a los riesgos climáticos. La calidad del producto es mejor (28), y con el mejor "valor biológico" aumenta la resistencia a las plagas y pestes. De la bioestructura depende en gran parte el lucro de nuestros cultivos, ya que aumenta el rendimiento y disminuyen los riesgos.

EFECTO DEL CULTIVO SOBRE LA BIOESTRUCTURA

Görbing (1944), **Köhler** (1951), **Russell** (1950), **Sékera** (1953), **Primavesi** (1953), **Franz** (1960) y, de aquí en adelante, todos los ecólogos del suelo, las Estaciones Experimentales y las Sociedades de Ingenieros Agrónomos (1971), constataron la pérdida de porosidad del suelo debido al cultivo. La decadencia de los grumos o agregados estables al agua, la formación de costras superficiales y de capas compactadas subsuperficiales son bien conocidos como consecuencia de los cultivos (capítulo 2). El libro más completo sobre este problema es de la **American Society of Agricultural Engineers:** *Compaction of agricultural soils* (2). También en Brasil, desde la instalación del curso de Pos-Graduación en "Biodinámica y productividad del suelo" por **Primavesi** (1970), los autores que tratan este asunto son cada vez más numerosos (14, 22, 27, 33, 44, 50, 60, 61). La cuestión no es si el cultivo destruye la bioestructura y con eso la base para una producción agrícola abundante, sino cómo evitar que esta destrucción ocurra, para que las cosechas no disminuyan o, lo que es peor, fracasen (46). En los Estados Unidos se calcula que por la compactación de los suelos agrícolas tiene lugar una reducción en las cosechas equivalentes a 1,18 billones de dólares, de modo que *el objetivo del manejo del suelo es la reducción de estos procesos de decadencia y el mantenimiento de una productividad mayor de todos los suelos de cultivo.*

Este problema no es nuevo, como muestran las leyes romanas, que obligaban a la utilización de abonos verdes, rotación de cultivos, abono de corral, encalado y plantación de leguminosas, para no "perder la fertilidad del suelo" (62).

No es ninguna novedad que las deficiencias químicas del suelo afectan directamente a la nutrición de los cultivos. Aunque las deficiencias físicas tienen un efecto semejante, por el impedimento de la expansión radicular, restringiendo el volumen del suelo del cual se toman los nutrientes; que un régimen hídrico seriamente comprometido imposibilita la solubilización de los nutrientes (50, 51, 55); y que una deficiencia aguda de oxígeno disminuye radicalmente la eficiencia del metabolismo de los nutrientes, fueron hechos que pasaron inadvertidos por muchos. Y aun así, una deficiencia física del suelo afecta la nutrición ve-

getal del mismo modo que la química. En la primera los nutrientes no existen en cantidad suficiente, en la segunda, aunque existen, no pueden ser absorbidos y metabolizados en forma suficiente.

La compactación o adensamiento afecta primeramente los macroporos y con esto, la infiltración de agua, su drenaje, y la circulación de aire en el suelo (55). Consecuentemente se disminuye el movimiento de agua con los iones disueltos *(mass flow)* y la absorción de los nutrientes, en primer lugar, calcio y nitratos (62).

El cultivo contribuye a la decadencia del suelo por las siguientes razones:

1. arada profunda, volviendo a la superficie la parte de suelo inestable al agua;
2. retorno deficiente de la materia orgánica o su incorporación profunda;
3. exposición de la superficie del suelo al sol y al impacto de las lluvias;
4. deficiencia de calcio y fósforo como también de otros nutrientes;
5. monocultivo, por uniformar la microvida y las excreciones radiculares (35).

Todas las técnicas usadas actualmente en la agricultura convencional tienen por objetivo "movilizar" el suelo.

Pero ¿para qué movilizarlo si su vida ya es activa por demás?

En épocas pasadas, el "granero del mundo", los países productores de alimentos, eran los subtropicales. En las zonas templadas el hambre rondaba los pueblos. La producción agrícola era muy incierta debido al clina frío e inestable. Los "riesgos climáticos" eran demasiado grandes. Sin embargo, después estos pueblos descubrieron la manera de hacer producir muy bien a sus tierras: las movían para calentarlas también en las capas de abajo, las exponían al sol para secarlas mejor del agua de deshielo, las mantenían "limpias" para permitir el máximo de insolación y, de repente, estas zonas desfavorecidas se tornaron los mayores productores de alimentos del mundo. Y, a pesar de tener una población densa, poseen hoy una superproducción agrícola que les permite llegar a exportar alimentos.

Generosamente exportaban su *know how* para quien quisiese, y los países tropicales lo aplicaban. Sólo que los métodos adecuados para las tierras frías no servían. La producción se volvió cara y arriesgada, como era la de los países templados mientras usaron los métodos de la agricultura subtropicales.

Hoy sabemos cómo son las tierras tropicales y el clima cálido, y están siendo desarrolladas técnicas adecuadas para manejarlas y hacerlas producir bien. ¿Por qué no usar estas técnicas?

Todas las técnicas de cultivo de campo que tienen por objetivo movilizar el suelo, tales como aradas profundas, abonos verdes, fertilización nitrogenada de tierras humosas, fuerte encalado, drenaje e irrigación, cuando son hechas en suelos bajo temperaturas elevadas, ayudan a destruir más rápido la estabilidad de la bioestructura (18, 64, 90), exigiendo, pues, una renovación más frecuente de la materia orgánica. Y si el suelo es pobre en óxidos de aluminio y hierro, o en sus bases, especialmente calcio y magnesio, contribuye a la decadencia de la bioestructura, porque priva a los ácidos orgánicos la posibilidad de ligar las partículas de arcilla (41, 80). Las arcillas pobres, sin cationes polivalentes, no pueden ser floculadas por ácidos húmicos, al contrario, sufren una dispersión como ocurre por la acción del sodio y también del potasio (1, 21).

En el momento en que se inicia la plantación de un suelo nativo, sea éste de selva o de pastura, se inicia la decadencia de su bioestructura, tanto por la descomposición de la materia orgánica, como por el empobrecimiento en cationes (Ca, Mg) y aniones (P), y por la exposición del suelo al impacto de las lluvias. Se exige, entonces, un manejo que proteja la bioestructura. En un suelo sin una estructura grumosa y activa en la superficie, estable al agua, no habrá respuesta satisfactoria a la fertilización química (5, 65, 66, 69, 70, 74). Con la disminución de la fracción orgánica descomponible, disminuye la cantidad de grumos estables al agua y aumenta la densidad aparente del suelo (17). Según **Scheffer** (1956), un

suelo arenoso debe tener, como mínimo, un 23 % de agregados mayores que 0,5 mm, estables al agua, y un suelo arcilloso, un mínimo de 43 % y un óptimo de 63 % (47).

Con la decadencia de la bioestructura disminuye la productividad del suelo (11, 65, 66, 81).

Sin embargo, la presencia de materia orgánica en sí misma no promueve la agregación del suelo, ni mejora la estabilidad de los agregados al agua. Lo que se necesita son los productos intermediarios de descomposición. Por consiguiente, es de suponer que el estiércol de corral bien curtido y semi-humificado dará menor efecto agregante que la paja del arroz, trigo o maíz en descomposición.

La tierra de cultivo se presenta generalmente con una costra superficial, que varía entre 0,5 y 3 cm de espesor, una capa suelta hasta 6 u 8 cm de profundidad, y una laja o capa compactada a partir de 8 cm hasta 25 o 30 cm de profundidad, según la profundidad de la arada y la textura del suelo (62).

Un pedazo de tierra grumosa se desmigaja en copitos entre los dedos bajo la menor presión (97, 98), mientras que un terrón tomado de un suelo compactado, sólo se deshace en polvo y ejerciendo una fuerte presión con los dedos.

COMO OCURRE LA DESTRUCCION DE LOS GRUMOS DEL SUELO

La destrucción de los grumos puede ocurrir por:

1. presión mecánica de máquinas agrícolas, ya se trate de las ruedas del tractor o de la reja del arado, azada rotativa o similares, especialmente cuando el suelo es trabajado mientras está muy húmedo (4, 19, 93);
2. compresión del aire en los microporos de los agregados durante el rehumedecimiento de un suelo seco, con elevado tenor en arcilla. La arcilla humedecida se expande comprimiendo el aire en los microporos, causando la "explosión" del grumo (*puddling*) (4);
3. fuerza cinética de la gota de lluvia *(splash)*, que es capaz de arrojar partículas dispersadas hasta 1 a 2 metros de distancia (20). El grumo despedazado y dispersado se manifiesta:
   a) por el enturbiamiento del agua, tanto de la que se escurre como de la que se infiltra en el suelo, por acarrear partículas de arcilla;
   b) por la arena blanca que permanece en la superficie del suelo en todas las pequeñas cavidades;
   c) por la costra superficial que se forma inmediatamente después de la primera lluvia;
   d) por la capa compactada debajo de la superficie del suelo, originada por la obstrucción de los poros debido a la arcilla arrastrada por el agua;
4. por la arada profunda y la dispersión de los grumos o agregados (4, 29);
5. por la falta de materia orgánica y nutrientes.

La exposición del suelo a la lluvia es tanto más grave cuanto más profundamente fue arada la tierra. Dando vuelta la tierra, que tal vez tenga agregados, pero no estables en agua, al llevarla a la superficie el encostramiento tiene lugar en menos tiempo. Por lo general se profundiza la arada para "eliminar la capa compactada" o simplemente porque la máquina es "suficientemente fuerte". No hay duda de que una capa compactada debe ser quebrada.

Existen trabajos que indican que la arada profunda es más ventajosa, como afirma **Leme** (1956). Pero él da las características del suelo que sí se beneficia con una arada profunda, y son las siguientes:

Cuadro 7.5 *Latosuelo, fase arenosa en que fue ventajosa una arada profunda (Lemé, 1956)*

Profundidad cm	*Densidad aparente* g/cm³	*Indice de tenacidad* (I.T.) %
0 - 5	1,65	0,93
5 - 15	1,65	0,63
15 - 30	1,44	1,54
30 - 70	1,46	1,09

Se comprueba que este suelo estaba completamente compactado, presentando una densidad que para la mayoría de las raíces era imposible de atravesar. En esta tierra, una plantación directa sólo puede fracasar, por no tener las raíces desde el comienzo la más mínima posibilidad de penetrar. Por otra parte, el agua se escurre casi en su totalidad, de modo que el piso apenas se humedece con la lluvia.

Hoy en día se está tratando de no hacer labranza o hacer una labranza mínima, en un esfuerzo por no enterrar la parte grumosa.

Con este fin EMBRAPA organizó, en 1977 en Londrina, la primera reunión sobre "plantación directa", que no sólo consigue mantener las cosechas estables, disminuyendo los "riesgos climáticos", sino que al mismo tiempo tiene influencia altamente benéfica sobre la disponibilidad de fósforo.

Cuadro 7.6 *Fertilidad del suelo en comparación entre una plantación directa y una convencional (Roman, 1978)*

	Muestreo de 0 - 5 cm (promedio de 5 años)					
	Girua		*Palmeira*		*Santo Angelo*	
	P.D.	Convenc.	P.D.	Convenc.	P.D.	Convenc.
pH	5,3	5,4	4,6	4,8	4,8	5,0
P ppm	39,5	13,5	7,5	4,0	45,0	20,0
K ppm	105,0	120,0	65,0	55,0	200,0	200,0
M.O. %	5,7	4,8	4,8	4,0	6,7	4,7

P.D. = Plantación directa.

Existen muchas técnicas en Brasil que tratan de disminuir los efectos desfavorables sobre la capa grumosa superficial. Se disminuye el movimiento de las máquinas, se evita el secado total del suelo por medio de una capa muerta, ya que los grumos con un 20 % de humedad no "explotan" más, se protege la superficie del terreno contra el impacto de la lluvia. Y finalmente se usa, cada vez con mayor frecuencia, el subsolador para "abrir" o romper el suelo sin revolverlo.

El impacto de la lluvia sobre los grumos es proporcional a la cantidad de lluvia. La más perjudicial es la que cae como torrente: unos 80 mm de precipitación por hora. En lluvias más fuertes, las gotas pegan entre sí y se reparten antes de alcanzar el suelo, por lo que su efecto destructivo es menor. Se sabe que cuanto más rápidamente se forme una costra superficial, más pronto comenzará a escurrir el agua por la imposibilidad de infiltrarse (52).

En la figura 7-16 se muestra el efecto del impacto de la gota de agua sobre un grumo o agregado, que es despedazado y dispersado.

Las partículas del grumo son lanzadas a distancia. La superficie del suelo se encostra, como muestra la figura 7-26.

Las partículas finas de arcilla penetran con el agua hacia adentro del suelo, y donde la fuerza del agua se torna menor, se sedimentan esas partículas obstruyendo los poros y pro-

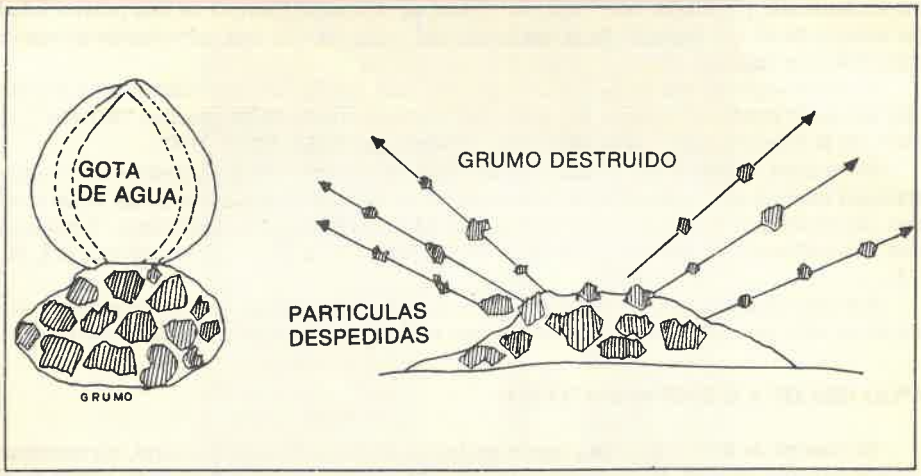


Fig. 7.16 *Efecto del impacto de la gota de agua sobre un agregado del suelo.*

vocando el comienzo de una compactación (4). Toda el agua que de allí en adelante penetre es "filtrada" por esta capa depositando su arcilla sobre los poros inicialmente tapados. Una capa compactada "crece" de abajo hacia arriba, como muestra la figura 7-17. El espacio de tierra suelta se torna cada vez menor, y éste es el espacio destinado a las raíces. Se forma un "piso de arado" o "pan" (19, 91, 93).

En suelos arcillosos, el inicio de la capa compactada tiene lugar a 20 o 30 cm de profundidad, y en suelos muy "pesados" a 15 cm. En suelos arenosos esta compactación puede iniciarse a 40 y hasta 50 cm de profundidad y existen casos donde puede iniciarse a 80

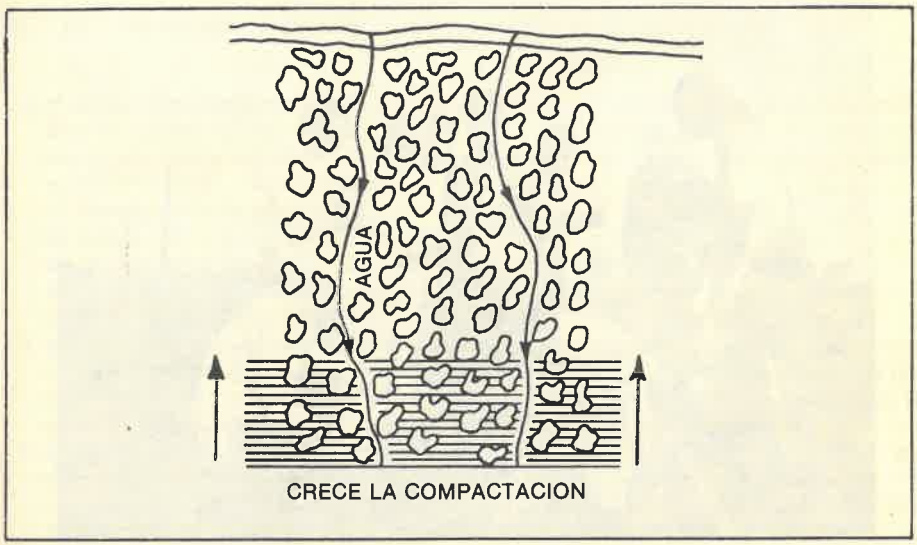


Fig. 7.17 *Formación de una capa compactada o "pan" por la sedimentación de arcilla arrastrada por el agua que se infiltró.*

cm. Cuanto más profunda, tanto más difícil será su remoción, porque en una profundidad por debajo de 40 cm depende de la microvida del suelo, ya que una subsolación se vuelve imposible (ver capítulo 5).

El máximo problema de las zonas tropicales, con sus lluvias torrenciales, es la protección del suelo contra el impacto del agua, y el mantenimiento de los grumos "activos", es decir, de la bioestructura, en la superficie del suelo (4, 7, 52, 53, 65, 100).

En la selva, la lluvia cae primero en las hojas de los árboles, deslizándose con mayor suavidad hacia la subvegetación, y finalmente hacia la cobertura muerta de las hojas en el piso. Se amortigua el impacto y la destrucción de los grumos es insignificante. Y como el piso, generalmente, se mantiene con un 20 % de humedad, la destrucción será nula (15, 16, 51).

Por consiguiente, una irrigación bien conducida debe ser una medida protectora, como debe serlo una fertilización comercial que acelera el "cerramiento" del cultivo.

ANALISIS DE LA BIOESTRUCTURA

El examen de la bioestructura puede ser hecho directamente en el campo, sin necesitar imperiosamente análisis de laboratorio (4, 29, 68). En varios casos el análisis visual en el campo es el único posible, como muestra la figura 7-18, donde un grupo de posgraduados en Biodinámica del Suelo examina un campo de papa donde el cultivo fracasó, aunque se trataba de una tierra nueva, recientemente desmontada. El problema fue una arada demasiado profunda, que enterró la parte grumosa y extrajo a la superficie el suelo estable al agua. Se formó una compactación entre la raíz y el fertilizante que hizo fracasar la plantación.

Para el análisis visual se usa:

Fig. 7.18 *Ingenieros agrónomos de posgraduación, examinando la estructura activa de un suelo en un cultivo de papa.*

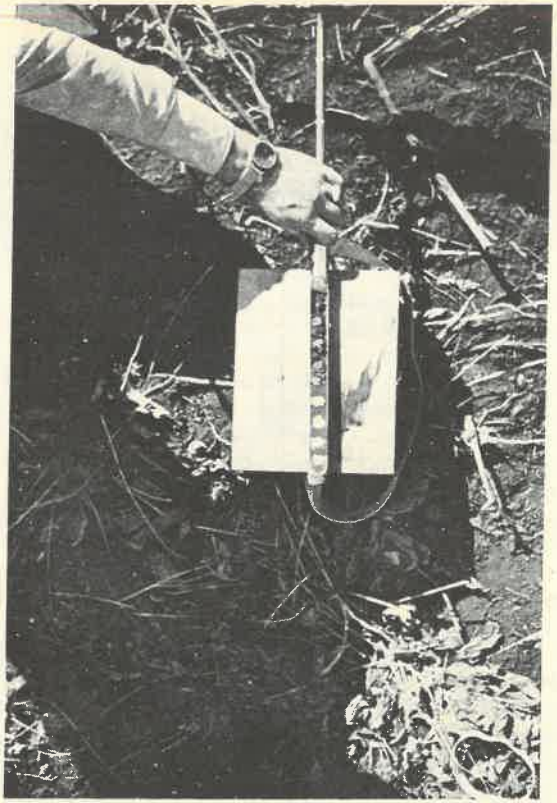


Fig. 7.19 *Examen de la densidad del suelo con el método del taladro o barreno.*

1. el análisis por medio de la pala común (68), retirando un bloque de tierra inalterada. Esta es apenas movida mediante un cuchillo, para indicar las zonas de cambio de estructura, que se manifiestan por rajaduras. De cada estructura se retira una pequeña porción de tierra, examinándola. Las alternativas son:
   a) desmigajarse en grumos,
   b) ostentar una costra superficial de espesor determinado,
   c) quebrar en terrones con fases irregulares (poca densidad),
   d) quebrar en terrones con fases planas (elevada densidad),
   e) quebrar en láminas (densidad muy elevada);
2. al mismo tiempo se examina la raíz pivotante de alguna planta de cultivo o invasora, midiendo la parte gruesa con abundante cabellera, la parte afinada, retorcida, con pocos cabellos, y la profundidad en que la raíz se desvía definitivamente de costado, lo que indica una densidad muy elevada (ver figura 2-12);
3. estos análisis pueden ser suplementados con el examen con un barreno o taladro, como se desarrolla en la Universidad de Buenos Aires (figura 7-19). Se retira tierra con un taladro tubular y se le hace gotear una suspensión de carbonato de calcio de 25 a 30 %, cada 5 cm, sobre el suelo contenido en el taladro. Donde el calcio desaparece en gran parte, el suelo es grumoso o poco compactado. Donde aparecen manchas pronunciadamente blancas, el suelo es muy denso. Este sistema, sin embargo, no fun-

ciona en suelos donde la compactación es muy reciente, envolviendo grumos enterrados por la arada (ver capítulo 2);

4. en casos de duda se procede a un tamizado húmedo, en el campo, determinándose, aproximadamente, la cantidad de grumos estables al agua, mayores de 0,5 cm.

Los restantes análisis tienen que ser hechos en laboratorio, si hay necesidad de ellos.

El análisis de la bioestructura sirve para saber las medidas a tomar, especialmente sobre la manera de preparar el suelo, el cultivo que debe ser elegido y la necesidad de materia orgánica, como será explicado en el capítulo 9.

EFECTO DE LAS MAQUINAS AGRICOLAS SOBRE LA ESTRUCTURA ACTIVA DEL SUELO

Como nos muestra el cuadro 2-9, el efecto de las máquinas sobre el suelo es diferente. La menor densidad aparente siempre tiene lugar donde se usó el subsolador, y la mayor, donde se usó la azada rotativa. Como se verá en el capítulo 9, el efecto desfavorable de las máquinas sobre la estructura depende también del "punto" de humedad del suelo. Generalmente el efecto destructor es mayor cuando el suelo está más húmedo (4, 19, 46). La maquinaria agrícola perjudica a la bioestructura por la presión de las ruedas, y por el deslizamiento de los implementos, que ejerce una acción "selladora" sobre los poros.

Cuanto mayor es el movimiento de las máquinas en el campo, tanto peor se tornará su estructura grumosa. Los grumos deshechos no se rehacen más por el aflojamiento del suelo compactado. Por eso se hace cada día más común el acoplamiento de las máquinas para preparar el suelo y el uso de la aviación agrícola. El movimiento descontrolado de las máquinas, como muestra la figura 7-20, siempre será perjudicial.

Examinándose esta tierra pocas semanas después de hecha la plantación, se verifica que su estructura está muy compactada, a pesar de toda la preparación, ya que no existían más grumos intactos, resistentes al agua (figuras 7-21a y 7-21b).

Generalmente seis semanas después de la plantación o siembra, la tierra se asienta, volviendo a ser tan compacta como antes de la preparación, y a veces peor.

Fig. 7.20 *Cómo el movimiento descontrolado de las máquinas agrícolas compacta el suelo.*

Fig. 7.21a *Suelo compactado por el movimiento excesivo de las maquinarias.*

Fig. 7.21b *Suelo grumoso antes de que las máquinas comenzaran su trabajo.*

Todos saben que, al costado del campo, donde las máquinas maniobran, el rendimiento es mucho menor, a pesar de haber recibido idéntica fertilización. En la figura 7-22 se muestran plantas de arroz. La de la izquierda fue retirada del medio del campo, las de la derecha son del borde del mismo. La diferencia es grande, tanto en el tamaño como en el rendimiento.

Pero no es sólo la presión de las ruedas de las máquinas lo que destruye los grumos. Antiguamente se pensaba que sólo el arado de reja podía causar un "piso de arado", al deslizarse por el suelo "sellando" los poros. Sin embargo el arado de disco no avanza en dirección de la tracción, sino transversalmente, de modo que el disco arrastra más cuanto

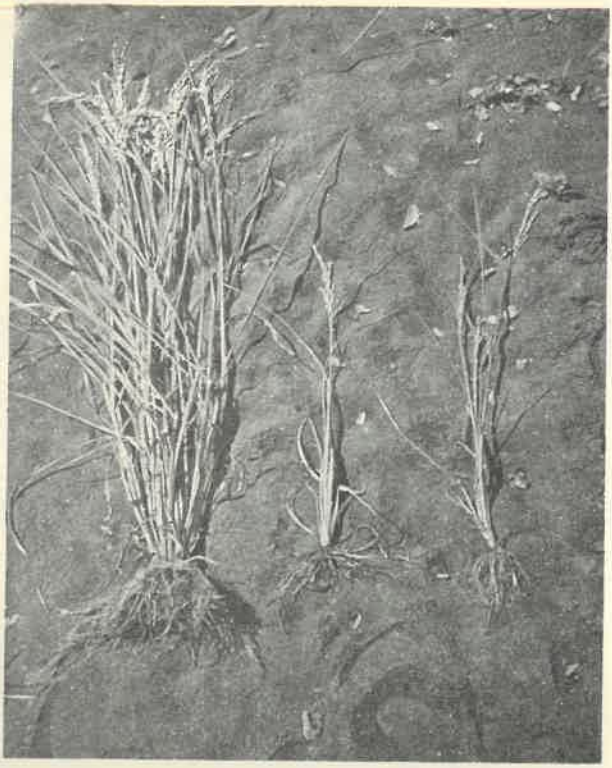


Fig. 7.22 *Plantas de arroz en tierra grumosa (izq.) y en tierra donde los grumos fueron destruidos por las ruedas de las máquinas (der).*

más rápido anda el tractor y cuanto más pesado es el propio arado. El empastamiento en la capa de deslizamiento (*smearing*) provocado por el arado de disco en suelo húmedo, es mucho mayor que el del arado de reja (19).

También la azada rotativa, no sólo despedaza los grumos o agregados debido a la velocidad del movimiento de sus cuchillas sino que también se desliza causando una capa de "sellamiento" o "piso de arado". Combinando la destrucción de los grumos y el "piso de arado", la azada rotativa tiene todavía un efecto peor sobre la bioestructura del suelo, provocando compactaciones mayores (4).

En la figura 7-23 se esquematizó la acción de las máquinas sobre el terreno.

En el cuadro 2-9 se demuestra el efecto de la compactación sobre el suelo. La mecanización excesiva se tornó un problema grave. La distribución de los correctores de suelo como el encalado, la arada, dos o más pasadas de rastra, la siembra y la fertilización, la distribución del herbicida, tres a seis aplicaciones de pesticidas o plaguicidas suman, como mínimo, diez pasadas sobre el campo. Y como en las plantaciones extensivas no siempre es posible esperar el "tiempo óptimo" para la operación, muchas veces las máquinas entran en campos todavía muy poco escurridos desde la última lluvia, y aún demasiado húmedos (93).

La mecanización descontrolada, que ocurrió en la euforia de poder usar máquinas cada vez mayores y más sofisticadas, en la mayoría de los países se redujo a un uso más limitado y cuidadosamente planeado (62). Eso, tanto para los cultivos anuales como para los

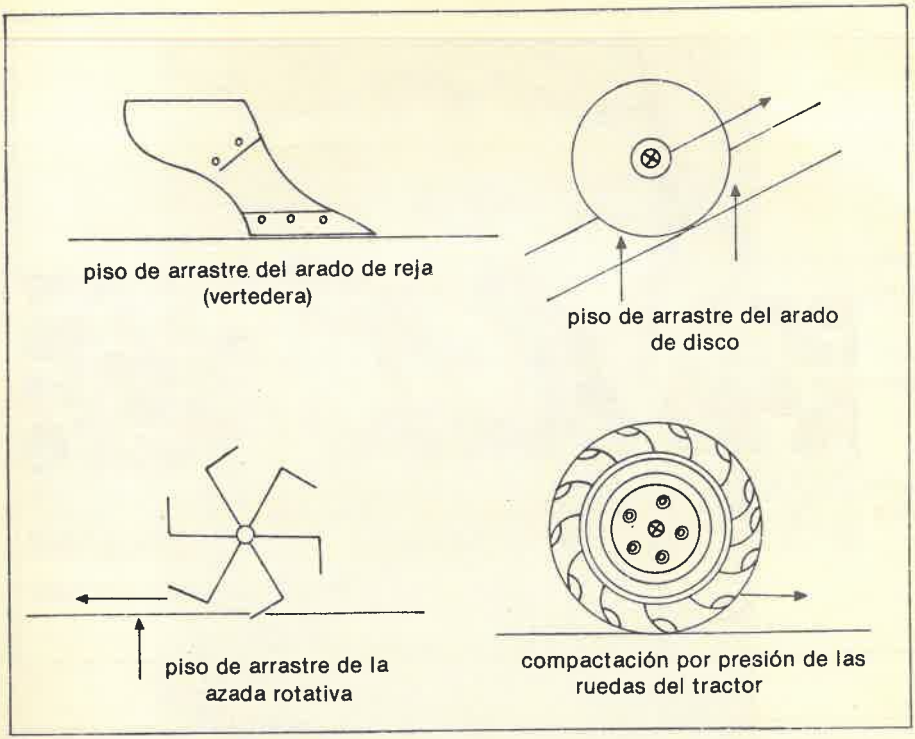


Fig. 7.23 *Efecto de la compactación y empastamiento del suelo por maquinarias agrícolas.*

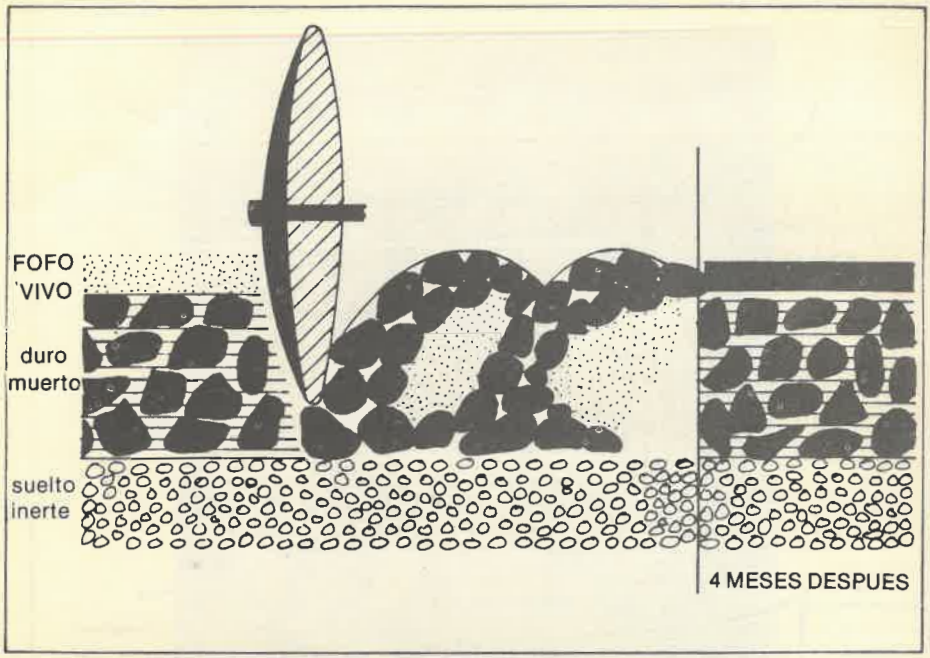
perennes, sean ellos café, caña de azúcar, citrus, té-de-la-india y otros, en los cuales el suelo entre las líneas se compacta por la frecuente pasada de máquinas, de modo que la infiltración del agua será reducida, el aire poco, y las raíces de las plantas se verán limitadas a los surcos de la plantación. Cuando los fertilizantes escasean las plantas retroceden en su desarrollo, iniciándose un "die-back". La compactación provocada por las ruedas se junta a la acción "selladora" de los implementos que se deslizan. Pero empastar los poros no sería lo suficiente para que se formara una compactación muy grande, también es necesario que los grumos de la capa superficial sean destruidos por la presión de las ruedas, pisoteo de los animales o la acción de las lluvias (42, 91).

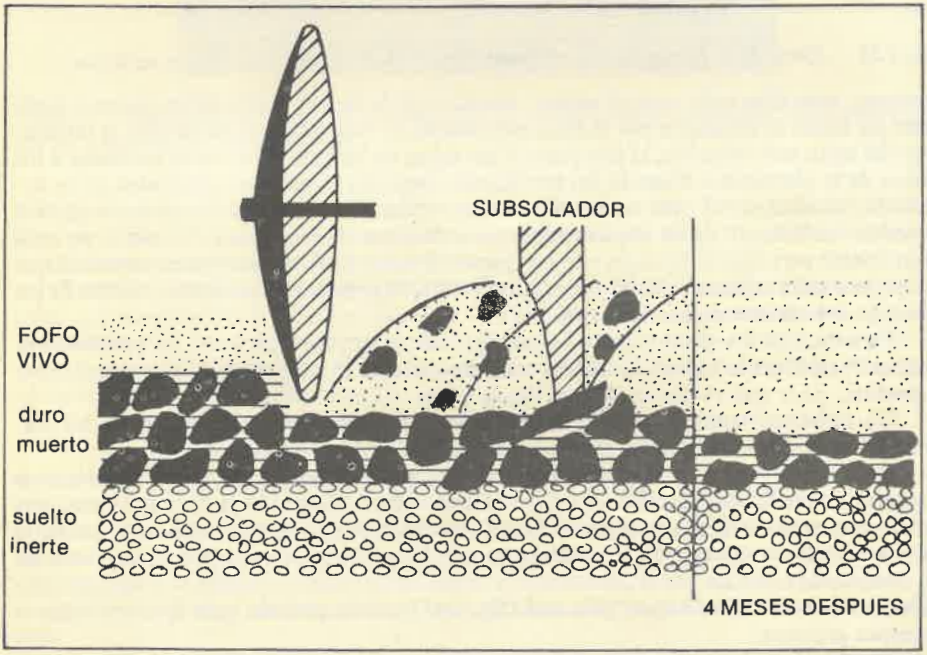
Para destruir los grumos no se necesita un tractor pesado o un buey, las patas de una "saúva"* también lo logran. Y cuanto más húmedo está el suelo durante la preparación o la pastura, peor será el efecto (4) (ver figura 9-48).

Sin embargo, tampoco es sólo la presión de las ruedas y el deslizamiento de las máquinas: una arada profunda en forma inadecuada, todavía es peor.

En la figura 7-24 se ve la arada incorrecta. El arado pasa por la capa compactada, en la tentativa de romperla, haciéndola subir a la superficie y ahogando la capa grumosa, que queda enterrada. Después de algunos meses el suelo estará compacto, peor aún que antes de la arada. En la figura 7-25, el arado entra sólo 2 cm en la compactación, mientras la capa compactada es rota por el subsolador. Los pocos terrones mezclados con la tierra grumosa pueden ser "absorbidos" por ésta (29), y al final del período toda la tierra arada se presenta grumosa.

* Hormiga de Brasil, del género Atta, muy perjudicial; constituye la más seria de las plagas agrícolas del país. (*N.T.*)





Figs. 7.24 y 7.25 *Efecto de una arada incorrecta y una correcta sobre la bioestructura del suelo.*

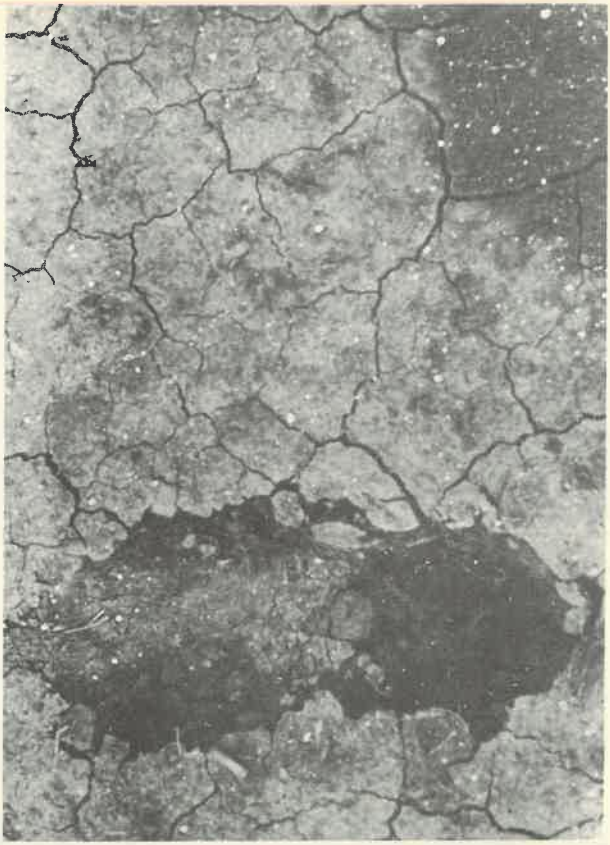


Fig. 7.26 *Costra formada en un suelo arado en profundidad. La marca de un zapato visualiza mejor la costra.*

Este conocimiento hace que muchos no quieran arriesgarse a una arada, tal vez errada, inclinándose por una preparación mínima del suelo (27, 46), o por una siembra directa (22). Se pasa una rastra de discos para incorporar superficialmente la vegetación, y en seguida, el subsolador. Pero debe advertirse que la rastra recortada también revuelve parcialmente el suelo, y si éste es arenoso, puede significar lo mismo que una arada.

El suelo arado a demasiada profundidad, exponiendo su parte compactada en la superficie, aun si es desmenuzado no resiste ni a la primera lluvia, formando inmediatamente una costra que en casos extremos alcanza hasta 5 cm de espesor (figuras 7-24 y 7-25).

La manera más rápida de destruir la productividad de un suelo es una arada inadecuada (4, 29, 42). Esto ocurre:

1. en terrenos con humedad superior al "punto óptimo de arada". La humedad correcta para poder arar no debe ser probada en la superficie, sino en la profundidad en que se pretende labrar;
2. al arar a demasiada profundidad, por querer remover la capa compactada, colocando de esta manera el suelo inerte en la superficie. La labranza correcta es sólo 2 cm más profunda que la capa grumosa; con buena estructura (29, 68);

3. sin protección rápida del suelo contra la acción de las lluvias, que sería el sembrado inmediato de una leguminosa de rápida germinación, que cubriría la superficie del terreno hasta la época de entrar el cultivo principal. Lo mejor es la implantación del cultivo principal dentro de este "cultivo protector".

La profundidad de la arada depende de las condiciones biofísicas del suelo, es decir, del espesor de la capa grumosa, y nunca de la potencia de la máquina. La capa subyacente se rompe mediante un subsolador, de modo que las raíces consigan penetrar y el agua consiga infiltrarse.

LA BIOESTRUCTURA Y SU RELACION CON EL CLIMA Y LA EROSION

La ignorancia de los factores que hacen a la productividad del suelo hace que ésta se pierda rápidamente (9, 43, 51). El agricultor se ve obligado a abandonar su tierra y buscar otra, donde la bioestructura esté intacta y donde las técnicas agrícolas todavía compensen. El 40 % de la agricultura brasileña todavía es itinerante o nómade y sigue el sistema: desmontar-plantar-abandonar, para que la tierra se recupere bajo bosques naturales o pasturas. La tierra es abandonada según la zona, por 8 a 20 años. De esta manera un colono que posee 60 hectáreas de tierra y que necesita 8 años para recuperar la productividad perdida, nunca cultiva más de 15 hectáreas. Se le echa la culpa al clima, pero el clima tiene importancia sólo cuando el suelo está físicamente decaído (22, 97), simplemente porque las raíces vegetales son confinadas a la capa superior, que está expuesta a un calentamiento y resecamiento frecuentes. Y, por el pequeño volumen de suelo explorado, de todas maneras faltan nutrientes. Muchas veces, los fertilizantes aplicados permanecen intactos en el suelo compactado, sin poder ser disueltos y absorbidos. En un suelo con bioestructura decaída, el fertilizante rinde poco efecto. Y en un suelo muy denso o compactado siempre aumenta el aluminio (fig. 3-6), y baja el tenor en fósforo (cuadro 7-7). Aunque varias plantas tropicales soporten el Al (50), no soportan la compactación. Un suelo grumoso, que almacena

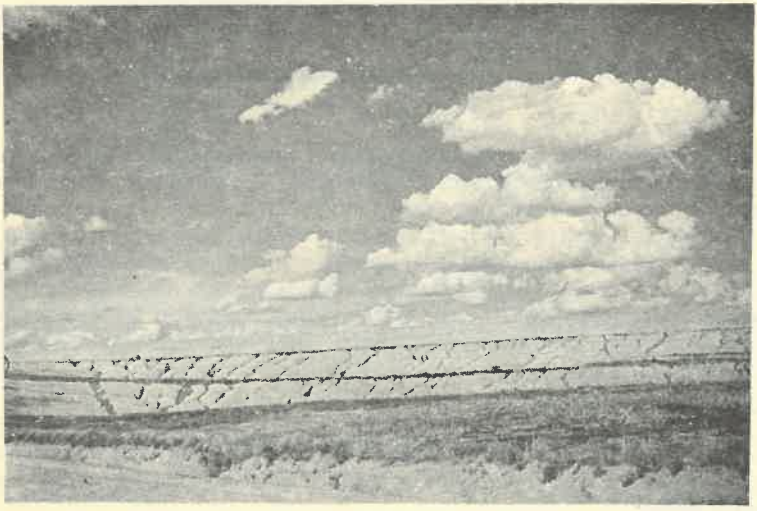


Fig. 7.27 *Campo de trigo surcado por terrazas inundadas. Las terrazas sólo sirven cuando están muy bien conservadas.*

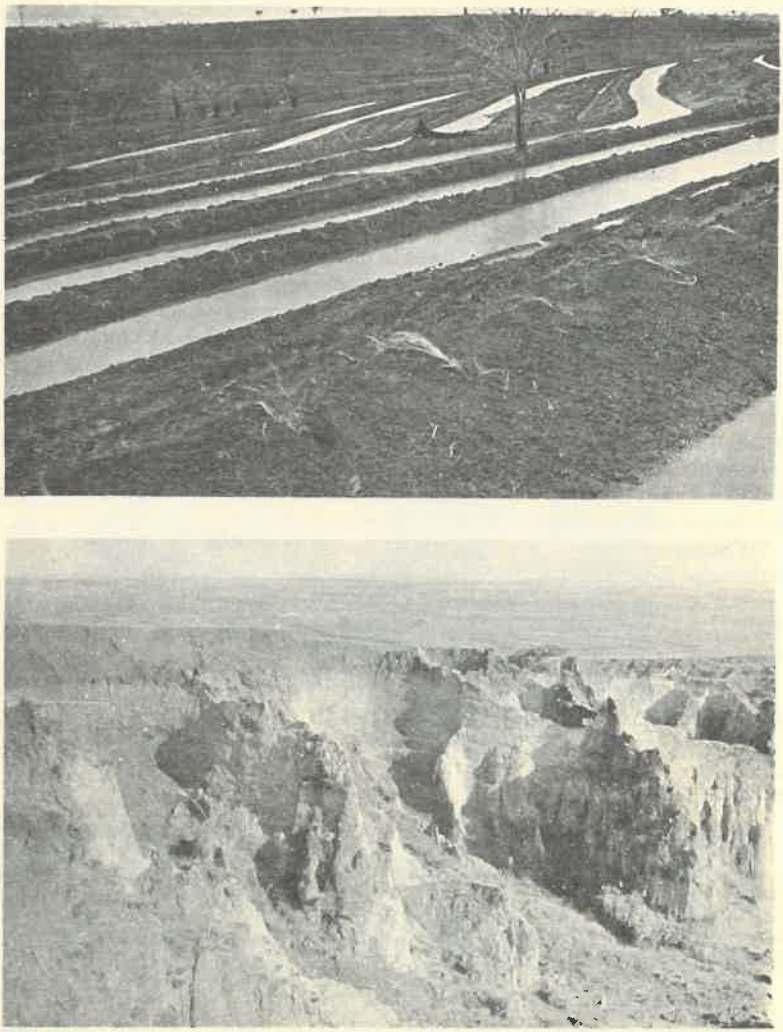


Fig. 7.28 *a) en suelo impermeable, casi toda el agua de lluvia se escurre, llenando las terrazas; b) o provocando erosión.*

lo suficiente en agua, y por donde circula suficiente aire, sin que le falte oxígeno a la raíz para ganar la máxima energía en el metabolismo vegetal (ver capítulo 1), siempre produce plantas fuertes y sanas. Posee una micro y mesovida equilibradas con muchas especies, y fuerte presión interespecie, de modo que la proliferación de plagas es más rara y las plantas más fuertes son menos susceptibles (ver capítulo 5) (24, 25).

A medida que el suelo se adensa o compacta disminuye la infiltración de agua (cuadro 7-7), y la falta de agua se torna aguda después de algunos días de sol, no sólo por la menor infiltración, sino también porque el espacio explorado por la raíz es menor.

Cuando llueve, gran parte del agua se escurre causando la erosión (fig. 7-27), reven-

tando hasta viejas terrazas, o llenándolas con agua (figura 7-28a), de manera que parecen canales de irrigación.

Toda lluvia causa crecientes y erosión, y encharca la capa tenue, grumosa, de la superficie, y cada semana de sol la reseca.

El suelo adensado o compactado siempre sufre de extremos, y además de ello le falta oxígeno para el metabolismo vegetal. Las plantas se tornan débiles, no crecen (30, 36, 63). El fertilizante puede ser absorbido, pero la metabolización es lenta por falta de energía (ver capítulo 1), no contribuyendo como debía en el desarrollo vegetal (37, 99). Y a medida que la raíz se ve impedida de expandirse, se debilita la parte aérea del vegetal. Y una parte vegetativa débil también debilita a la raíz, entrándose en un círculo vicioso. La raíz debilitada absorbe menos agua y menos nutrientes de lo que podría absorber si estuviese fuerte; su espacio vital está limitado a la capa superior del suelo, que fácilmente sufre la falta de agua y el recalentamiento. Por encima de 33° C ninguna raíz consigue absorber. Si el clima no es exactamente lo que la planta necesita para poder vivir en este espacio limitado del suelo superior, la cosecha se debilita o fracasa totalmente. Por eso se dice que sólo cada 7 años se obtiene una cosecha abundante.

Donde el clima molesta, puede tenerse certeza de que el suelo está decadente, ya que el suelo grumoso y suficientemente poroso, actúa como "amortiguador", moderando el efecto desfavorable de una distribución mala de lluvias. Eso no ocurre únicamente porque la infiltración del agua es buena y el almacenamiento suficiente, también porque la raíz consigue explorar un volumen grande de suelo, pudiendo absorber agua de capas a las que no le "llega" la sequía (3).

Se dice que hay erosión cuando cae más agua de la que es posible penetrar en el suelo. Eso es cierto cuando la condición de encostramiento y compactación es inalterable. Pero en el cuadro 7-7 se muestra que la infiltración del agua puede depender del manejo del suelo y de su densidad aparente.

Cuadro 7.7 *Infiltración de agua en un latosol Roxo Distrófico, de textura arcillosa.* **(Machado,** *1976)*

Uso del suelo	*Infiltración mm/hora*						
	1°	2°h	3°h	4°h	5°h	6°h	7°h
selva	136,8	92,9	82,6	82,0	77,0	75,0	73,0
plantación direc.	113,1	78,9	74,5	62,7	61,0	54,8	51,5
campo nativo (pastura)	96,1	66,3	63,0	52,7	51,8	46,7	44,2
plantación convencional	48,0	33,0	31,5	25,5	24,0	23,0	22,0

Se comprueba que en la selva virgen (mata), con sus tres capas de protección del suelo (arbórea, arbustiva y hojas muertas), prácticamente no existe lluvia que no se infiltre, ya que 136,8 mm de precipitación por hora es raro. Mientras en la tierra cultivada convencionalmente, la infiltración es tres veces menor que en la selva, de modo que "cae más agua de la que puede infiltrarse". *La erosión no es un fenómeno natural, es el síntoma visible de un estado de decadencia del suelo, es decir, de la disminución drástica de los macroporos,* como muestra el cuadro 7-8.

El agua que no consigue infiltrarse se escurre. No sólo llena las terrazas, sino que también arrastra partículas superficiales del suelo, de los grumos o agregados dispersados. Deposita estas partículas en pequeñas depresiones del terreno, hace surcos, corridas, "vossorocas", zanjas, arrastra cantidades cada vez mayores de tierra, semillas, plantas, árboles. Enturbia ríos, amontona restos en los diques, inutiliza puertos para la navegación y torna barrosas las playas que dan al mar. Provoca crecientes e inundaciones que arrastran casas, puentes, partes de construcciones. Eso es la erosión (49, 97).

Cuadro 7.8 *Algunas propiedades físicas del latosol Roxo Distrófico, de textura arcillosa.* (**Machado,** *1976).*

Propiedades del suelo	*Suelo de selva*	*Suelo de campo*	*Plantación directa*	*Plantación convencional*
densidad apart.	1,20	1,24	1,21	1,35
macroporos	20,4%	14,4%	14,3%	6,9%

Fig. 7.29a *Campo de algodón con el suelo rajado, las plantas se desarrollan mal.*
Fig. 7.29b *Soja en suelo deteriorado.*

Cuando el suelo se raja con algunos pocos días de sol (fig. 7-29a), o cuando tienen que ser deshechos los terrones, hay muchas cosas equivocadas. ¡Es la señal de alerta!

Comprobamos que la altura de las plantas acompaña a las condiciones físicas del suelo (favorables o desfavorables). Un suelo que se raja no necesita de irrigación porque está muy seco, sino que antes que nada necesita la recuperación de su sistema poroso, de su bioestructura, para que el agua de lluvia pueda infiltrarse.

LA EROSION

Cuando desaparece la bioestructura, se instala la erosión, las crecientes y, consecuentemente, la sequía. El origen de estas catástrofes naturales es tan insignificante que, por mucho tiempo, pasó inadvertido: un suelo desnudo, una tierra seca, grumos mal "cimentados" ("pegados"), por falta de materia orgánica (65).

Hace solamente unos 30 años que se descubrió el verdadero *origen de la erosión: la infiltración deficiente de agua en el suelo* (36, 69, 70, 75).

Según **Wagner** (1954), la cantidad de agua que se infiltra en 3 minutos en un suelo selvático nativo, puede llevar hasta 240 minutos en un suelo rastrillado, en un bananal o trigal (97).

¿El agua puede permanecer mucho tiempo detenida sobre la tierra hasta conseguir infiltrarse? Evidentemente no. Se escurre. Por eso se construyen las terrazas, pero ellos sólo pueden hacer que el agua se escurra menos rápidamente, nunca consiguen revertir las causas de la erosión: la poca permeabilidad del suelo.

Resta preguntar: ¿por qué sólo se trata de evitar el escurrimiento del agua, y no de mejorar la permeabilidad del suelo y con ello, la infiltración? El agua que se infiltra no es-

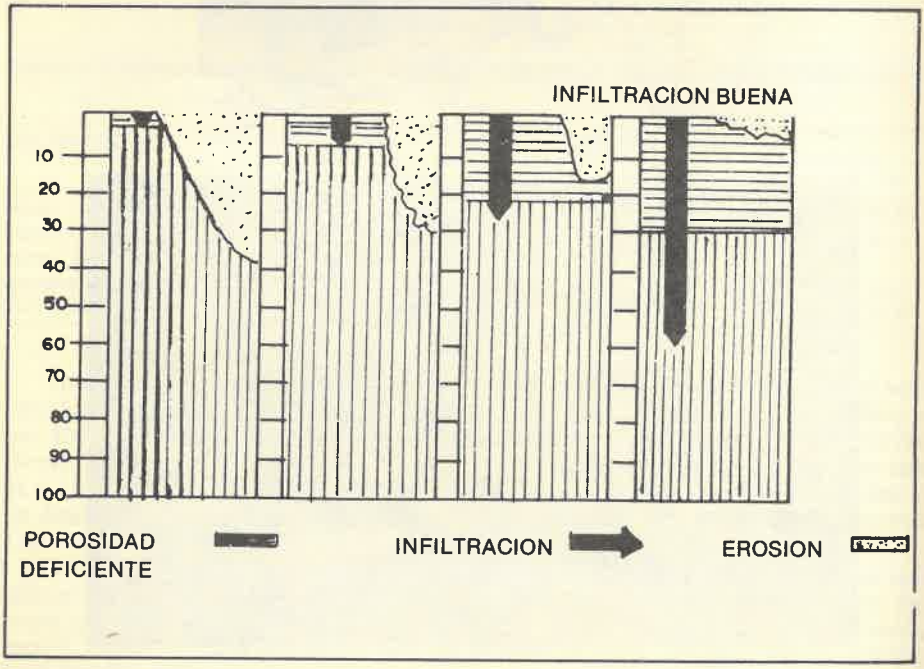


Fig. 7.30 *Esquema de permeabilidad, infiltración y escurrimiento de agua.*

curre, como muestra la figura 7-30. Del lado derecho se presenta un suelo grumoso con buena permeabilidad, donde el agua pluvial se infiltra y la tierra arrastrada por lluvias torrenciales es muy poca. Siguiendo hacia la izquierda, los suelos presentados tienen cada vez menor capa grumosa y mayor adensamiento y, por lo tanto, una infiltración peor, hasta el cuadro de la izquierda, donde prácticamente no existe posibilidad de infiltración, aun si este terreno tuviese su superficie protegida.

Lombardia y **Pestana** (1972) presentan un cuadro muy interesante. En él muestran que, en un campo con cultivo continuo de algodón, idéntica cantidad de lluvia causa una erosión y un escurrimiento muy distinto en la década del 50 y en la del 60, donde ya era común el uso de tractores.

Cuadro 7.9 *Precipitación anual, pérdidas de tierra y de agua, cantidad de lluvias totales y que ocasionaron sólo pérdidas de tierra y agua, en un campo de algodón cultivado continuamente, en el Centro Experimental de Campinas* (**Lombardi** *y* **Pestana,** *1972).* (102)

Año agrícola	*Lluvias en* mm	*Cantidad de lluvias* total	que provocaron pérdidas	*Pérdidas* agua mm	tierra t/ha
1954/55	1.055	99	3	14,5	1,8
1955/56	1.225	112	12	43,1	5,3
1956/57	1.314	101	9	63,9	9,0
1957/58	1.607	144	34	198,9	65,7
1958/59	984	123	6	10,3	2,8
1959/60	1.270	121	10	41,9	6,0
1960/61	1.427	126	9	67,1	7,3
1961/62	1.163	104	9 = 11,7%	94,6	24,7
1962/63	1.270	99	23	247,6	102,9
1963/64	1.037	91	23	131,5	121,8
1964/65	1.866	135	43	343,3	128,1
1965/66	1.426	122	35	270,6	101,3
1966/67	1.507	121	33	283,8	114,9
1967/68	1.303	108	31	133,2	51,2
1968/69	916	94	13	39,4	18,6
1969/70	1.983	120	39 = 26,9%	344,2	79,1

Obs.: el declive del terreno es de 9,9%

Mirando este cuadro surge la pregunta: ¿por qué a partir de 1962/63 las lluvias se tornaron más erosivas? Y los autores extraen esta conclusión: *"la capacidad de la lluvia para erosionar un suelo depende sobre todo de la intensidad de la lluvia, de su cantidad, y de las condiciones de la superficie del suelo".*

La conclusión lógica que se impone es: *cuando las condiciones de la superficie del suelo son buenas, es decir, grumosas, y cuando ésta es protegida de la intensidad o energía cinética de la lluvia, la erosión será mucho menor.*

Que esto es verdad nos demuestra **Marques** en su cuadro, comparando varios métodos de plantación y protección del suelo con cobertura muerta.

Cuadro 7.10 *Pérdidas anuales de tierra y agua (Estación Experimental de Ribeirão Preto, en el año agrícola 1958/59)* (**Marques**, *1961)*

Tratamiento	*Pérdidas*		
	tierra ton.	agua mm	
plantación corriente	2,53	47	
sin arada	1,51	36	
sólo rastra de disco	1,31	42	
herbicidas	1,24	38	se desconoce la densidad del suelo
alternación de escardados	0,94	30	
plantación en contorno	0,67	21	
abono verde anual	0,50	19	
cultivo bajo cubierta alternado con hileras de pasto	0,03	5	

Para la interpretación mejor de este cuadro se necesitarían los datos sobre la densidad del suelo y la humedad del campo en el momento del trabajo. En todo caso, se puede verificar que no es solamente la lluvia la que causa la erosión, también el sistema de siembra y la protección.

La cobertura muerta cada dos intervalos entre las líneas dio el mejor resultado, posibilitando la mayor infiltración de agua.

Las condiciones de la superficie del suelo dependen, pues, absolutamente del manejo recibido. **Silva** y **Figueiredo** (1975) constataron en el "triángulo minero" (Minas Gerais) que el "latosol roxo" allí existente sufre compactación subsuperficial muy rápidamente cuando queda descubierto (sin cobertura vegetal), siendo variable el espesor y la profundidad de esta capa, la cual se torna un obstáculo a la penetración radicular y a la propia preparación del suelo. Y según los autores, cuando este suelo es arado, "a veces una simple lluvia basta para arrastrar la capa removida de la superficie".

Es evidente que todo el problema se resume en la bioestructura deficiente. La erosión aquí no necesita de lluvias torrenciales, ya que casi toda se escurre. Y repetimos: el problema no está en el suelo, sino en su manejo.

Las terrazas

Se probó que el 95 % de la erosión se debe a la mala infiltración de agua y sólo el 5 % al declive del terreno (4).

La erosión es tan antigua como la historia de la humanidad. Hace 2.500 años, en China, las laderas ya eran cultivadas en forma de terrazas. En las Filipinas y en los Andes las terrazas son comunes. Los incas las conocían tanto como los sumerios de la Mesopotamia y los pueblos que habitaban el Sahara, cuando todavía era el "granero del mundo" (75). Pero la terraza sólo tiene valor cuando está intacta y bien conservada. En la figura 7-27 se ven terrazas destruidas.

En el momento en que se construye una terraza se asume un compromiso muy serio: se debe tener la certeza absoluta de poder conservarla, año tras año, aunque el tiempo sea desfavorable para los trabajos en el campo, aunque haya escaso tiempo disponible para su conservación, aunque haya cualquier impedimento como guerra o revoluciones, falte dinero, se quiebren las máquinas o falte mano de obra. *Una terraza hecha exige imperiosamente ser conservada.* La erosión es seria cuando no hay terraza: el agua escurre toda la superficie (*sheet erosion*), aunque con fuerza relativamente pequeña, formando "corridas" o "zanjas de erosión".

Pero cuando una terraza se rompe, el agua retenida en ella forma un embudo y se escurre por la brecha como una canaleta con fuerza hasta la terraza siguiente, también llena de agua, y es muy probable que también la reviente. Con la suma de la fuerza del agua de

Fig. 7-31 *Los suelos impermeables, además de ser desvastados por la erosión, pueden adquirir carácter desértico.*

las dos terrazas ya se forma una corriente bien seria que arranca no sólo el suelo superficial, sino también el subsuelo, formando "vosorocas" o corridas profundas. Los estragos hechos por las terrazas que se van rompiendo, no pueden ser corregidos por el tractor con arado, exigen obras especializadas que son carísimas (4). Y si la erosión continúa estas obras ya no podrán ser realizadas nunca más, por lo que las tierras son normalmente abandonadas. Pueblos enteros desaparecieron debido a que en sus terrazas rotas ya no podían cultivar, como por ejemplo, los pueblos del Sahara, los sumerios, los incas y los mayas (75).

Hoy se sabe que no es tanto el declive lo que causa el escurrimiento del agua y la consiguiente erosión, sino la poca capacidad de infiltración del suelo. **Bertoni** y **Pestana** (1964), en São Paulo encontraron una relación poco significativa entre el declive del terreno, la intensidad de la lluvia y el escurrimiento del agua. Y **Suárez** (1957) constató que el cultivo aumenta la impermeabilidad del suelo. Lo peor en los suelos de poca o ninguna permeabilidad es que el agua, en lugar de mojarlos, se escurre y éstos permanecen secos. Pero no es únicamente eso; un suelo con su superficie destruida siempre posee capas compactadas o adensadas en profundidades que varían, según la textura del mismo, entre 18 y 80 cm, impidiendo la penetración y el desenvolvimiento radicular de las plantas y el abastecimiento y reposición de las napas subterráneas de agua, de modo que no hay más nacientes en esas regiones y los ríos sólo tienen agua durante la estación de las lluvias. Cuando llueve crecen estos ríos e inundan vastas zonas y cuando terminan las lluvias el caudal disminuye abruptamente y se pueden secar por completo (97).

La región adquiere carácter desértico, como se ve, por ejemplo, en la figura 7-31 sin que por el momento haya cambiado el régimen pluvial (82). Es suficiente que la lluvia no pueda penetrar en la tierra, para formar ríos que escurren hacia los mares sin pasar a través del suelo. En Africa se les llama "Wadi" a estos ríos temporarios que únicamente tienen agua mientras llueve y que no se alimentan por nacientes. Así existen regiones desérticas en el sur de Africa con más de 2.800 mm de lluvia (82).

Como la vegetación se vuelve cada vez más rala, raquítica y retorcida, el aire y el sol calientan mucho estas tierras, de modo que más tarde, las lluvias se tornan desiguales, peor distribuidas y de una violencia mucho mayor, como muestra la figura 3-5. La vegetación de

las sabanas se debe a este hecho (76, 101), y tal vez también las de los cerrados, ya que la mala infiltración del agua y la deficiente expansión radicular siempre significan una deficiencia aguda de nutrientes minerales para la planta, como fue explicado anteriormente.

Sequías y crecientes

Donde existen capas compactadas o adensadas en la superficie del suelo o en poca profundidad, y donde hay costras superficiales, el agua de lluvia se escurre en su mayor parte. El escurrimiento del agua causa la erosión y las crecidas, ya que en cortísimo tiempo se va escurriendo por el terreno hacia los ríos, provocando las más pavorosas inundaciones. Cuántos ríos existen que anteriormente a que se hubiese establecido la agricultura en la zona, eran cristalinos y los puentes que los atravesaban eran bajos. El nivel del agua no variaba mucho durante el año, pero con el cultivo de la tierra y la erosión, los puentes fueron llevados por las aguas debido a las crecientes. Y donde hay crecientes, fácilmente hay inundación.

Las inundaciones se tornan cada año más pavorosas, como muestra la figura 9-5. ¿Alguna vez se vio un río con agua cristalina que inundase campos y ciudades? Nadie lo vio porque no existe. Los ríos que causan las inundaciones son turbios porque arrastran la tierra de la erosión. Sabemos que la inundación cubre todo con una capa de limo, que puede ser tan fértil como era la del Nilo, fertilizando los terrenos y posibilitando buenas cosechas. Pero también puede arrastrar residuos y basura, soterrando cultivos, casas y hasta partes de ciudades, como en Tubarao y Recife. *Y cuando pasan las crecientes e inundaciones, creando cada vez más flagelos, sobreviene imperiosamente la sequía.*

¿Por qué?

El agua de lluvia no penetró en el piso, no aumentó los niveles freáticos, no alimentó las nacientes, simplemente se.escurrió. Y la rectificación de los ríos puede llevar el agua de la erosión y de las crecientes más rápidamente hacia el mar, evitando las inundaciones. Pero nunca puede evitar la sequía, restituir los niveles subterráneos de agua, hacer brotar las naeientes y "mojar" la tierra (97).

Vale preguntar, entonces, ¿por qué no se unen y se hacen simultáneamente obras para formar terrazas y para mejorar la permeabilidad del suelo? ¿Por qué no evita al mismo tiempo el escurrimiento de agua y se restablece y protege la estructura grumosa del suelo para que haya una buena infiltración de agua a razón de 130 a más mm por hora? En un suelo protegido, donde la lluvia no golpea sobre los grumos sino sobre una cobertura muerta de unos 5 cm de espesor, nunca habrá escurrimiento ni erosión, y se pueden infiltrar 100 mm de lluvia en 5 minutos (97). Eso será más que suficiente para evitar crecientes e inundaciones.

Hasta el momento el hombre siempre trató de "dominar" la naturaleza, en lugar de manejarla. Y la consecuencia es que el medio ambiente se está deteriorando peligrosamente, porque *todos* los factores de un lugar deben constituir un conjunto armonioso. Ningún síntoma es algo aislado. Siempre habrá una causa y esta causa estará encastrada en un conjunto de factores, que tal vez para el lego aparecen aislados, pero en verdad *nunca* lo están. Se debe recordar que *la modificación de un factor del ambiente modifica automáticamente a todos*. De esta manera, la vegetación que crece en suelos severamente compactados o adensados es paupérrima y raquítica, de un xeromorfismo pronunciado, ya que este suelo es seco aunque haya un régimen pluvial bastante satisfactorio (82).

¡Sólo el agua que se infiltra puede hacer crecer las plantas! La suma de las precipitaciones tiene muy poco efecto cuando se escurre, y la distribución de las lluvias ayuda muy poco cuando el agua no puede penetrar. Consecuentemente, la vegetación raquítica no consigue más "atraer" las nubes que pasan, debido a la relación de temperatura y humedad como lo hacen las selvas, y se instala la sequía (97).

En lugar de mejorar las condiciones del suelo y del ambiente, con grandes esfuerzos, grandes gastos y sacrificios se instalan obras de irrigación, que muchas veces traen la poste-

rior salinización de los suelos y su pérdida definitiva, como será tratado más adelante en el capítulo 9.

La erosión siempre es peor en regiones con alternancia de clima húmedo y seco, común en grandes áreas de los trópicos y en casi todo Brasil (76). Esto es porque las lluvias son más fuertes y los grumos son más fácilmente destruidos. La vegetación seca "invita" a ser quemada, y con la quema se desnuda el suelo completamente.

El escurrimiento del agua depende:

1. de la estructura de la superficie del suelo (grumosa o compactada);
2. de la protección de esta estructura grumosa o de la cobertura vegetal (cobertura muerta, selva, pastura o campo agrícola, cultivo denso o espaciado, consociado, rastrillado a limpio o tratado con herbicidas);
3. de la intensidad y duración de las lluvias;
4. del declive del terreno y de las prácticas conservacionistas (terrazas, plantaciones en curva de nivel);
5. de la fertilidad del suelo, de la que depende en parte el vigor y la densidad de la cobertura vegetal;
6. del uso del suelo y de las prácticas agropastoriles (9, 38, 39, 65, 69).

LA PROTECCION DE LA BIOESTRUCTURA

En todo el mundo siempre se tentó proteger el suelo, aunque estas tentativas fuesen más inconscientes que dirigidas. En el cuadro 7-11 se muestran algunos datos bastante aclaratorios:

Cuadro 7.11 *Pérdida de suelo por la erosión por hectárea en tres años (***Batey,** *1973)*

	t/ha de tierra
sueldo arado sin vegetación	350,0
pasto nativo (suelo virgen)	3,3
suelo arado protegido por un tul colocado 5 cm encima de la tierra	3,0
suelo protegido por una capa de 5 cm de papa picada	3,0

El cuadro 7-11 muestra claramente que el problema no es tanto la evaporació, sino el impacto de las gotas de agua sobre la tierra. El tul puede "despedazar" las gotas, de modo que su fuerza cinética disminuye mucho. Con eso se mantienen los grumos superficiales intactos, conservando los macroporos que sirven para la infiltración del agua.

Sin embargo, en un suelo compactado o desintegrado, la protección de la superficie no tiene efecto, ya que no hay nada que quede por proteger. Una casa intacta puede ser protegida contra el fuego, pero una vez que se quemó ya no vale la pena protegerla, pues lo que importa se destruyó.

En este cuadro queda claro que el abono verde no es protección para el suelo, ni contribuye para el mejoramiento de su estructura. Hasta el cultivo de maiz plantado en contorno es más favorable. La razón es la siguiente:

El abono verde protege el suelo mientras está en pie, pero lo expone si es enterrado para su descomposición; generalmente llega a gastar el humus del suelo ya que la relación C/N es demasiado estrecha y las bacterias descomponentes necesitan una fuente de ener-

Cuadro 7.12 *Efecto de la práctica de cultivo sobre el escurrimiento, en una arcilla pesada, en Africa tropical, Rodesia (***Hudson***, 1965)*

	declive 6,5 %			declive 4,5 %			declive 3,0 %		
	maíz maíz	maíz abono verde	pasto Napier	maíz maíz	maíz abono verde	pasto Napier	maíz maíz	maíz abono verde	pasto Napier
pérdida de suelo en t/ha	8,0	46,8	2,8	5,0	15,0	3,4	5,6	11,8	0,8
agua escurrida en mm	280,8	391,5	72,9	270,0	261,9	140,4	180,9	229,1	24,8
agua escurrida en % de lluvias	29	40	8	28	27	14	19	31	3

gía, el carbono del suelo. Por lo tanto, no es medida de protección o mejoramiento físico del suelo.

Un ensayo de **Mascarenhas** y **Miyasaka** (1967) con abono verde para plantas de poroto muestra que ésta prácticamente no tiene efecto sobre las propiedades químicas del suelo; en

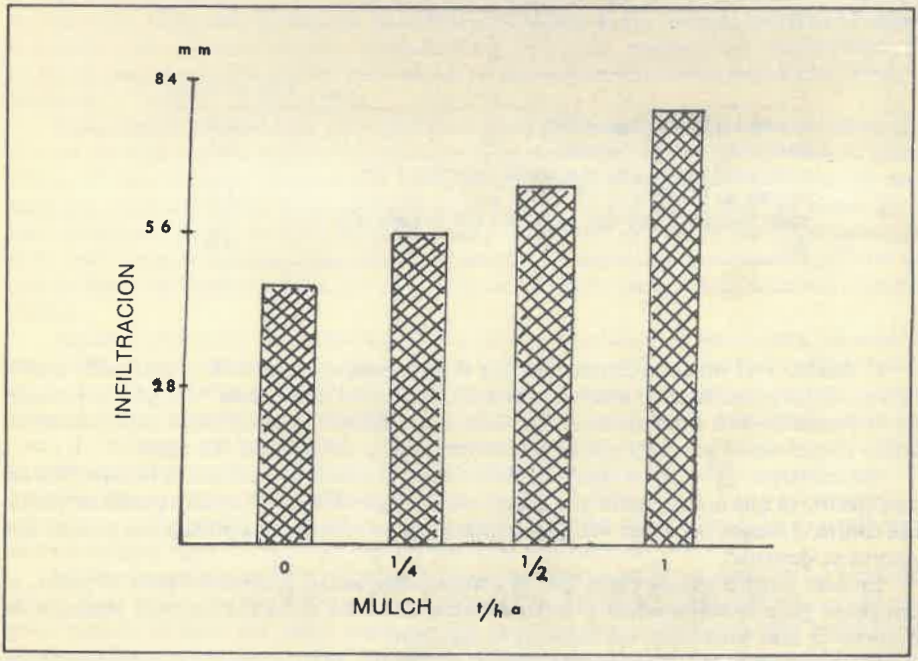


Fig. 7.32 *Influencia de varias cantidades de restos de cultivos en la infiltración de agua y pérdida de tierra (***Mannering***, 1975).*

el tratamiento V_2 del cuadro 7-13 las condiciones en parte empeoran. Eso ocurre probablemente por el pisoteo más intenso durante la retirada de lo tallos de la crotalaria. Y presumiblemente deriva en una compactación mayor del suelo.

El aumento del rendimiento del poroto en grano es mayor donde fue colocada toda la materia orgánica (504 kg/ha), y menor donde se retiraron los tallos (426 kg/ha), el mayor tenor en C y en Al intercambiable deja suponer una mayor compactación del suelo en V_2, y que la disminución de la cosecha no se debe exclusivamente a menores cantidades de masa verde, sino también a las peores condiciones físicas del suelo, y a las peores condiciones de la descomposición (mayor tenor en Al y C).

El mulch o cobertura muerta es una protección excelente de la superficie del campo, como muestra la figura 7-32. Donde la infiltración de agua es pequeña, la pérdida de tierra por erosión es grande. Pero donde la infiltración de agua es buena, la pérdida de tierra es insignificante.

Sin embargo, en la estación de aguas la infiltración provoca igualmente lixiviación, de modo que la cobertura muerta debe ser sustituida por una cobertura "viva" (100).

Esta puede ser conseguida:

a) por un espaciamiento menor del propio cultivo (10, 100);
b) por la plantación de dos cultivos al mismo tiempo, pero de diferente altura, como por ejemplo: mandioca-poroto, maíz-soja;
c) por la plantación de un "cultivo protector", como será tratado en el capítulo 9.

Cuadro 7.13 *Efecto del abono verde en plantas de poroto de sequía con* Crotalaria juncea L. **(Mascarenhas** *y* **Miyasaka,** *1967*

Características determinadas después de la cosecha	*Tratamientos*		
	V_o	V_1	V_2
pH	5,10	5,11	5,06
PO_4 e. mg/100 g	0,08	0,07	0,08
K e. mg/100 g	0,10	0,15	0,11
Ca + Mg e. mg/100 g	3,15	3,22	3,09
Al e. mg/100 g	0,38	0,35	0,42
C %	1,46	1,49	1,54
aumento del rendimiento %	100	141	128

V_O = testigo
V_1 = toda la vegetación colocada en el suelo
V_2 = se retiraron los tallos, colocando sólo las hojas en el suelo

En todos los casos se desea la protección del suelo contra el impacto de las lluvias, y una mejor infiltración del agua (4, 100).

Antiguamente se temía que un menor espaciamiento pudiese resultar en una deficiencia de agua para el cultivo. Sin embargo, el encostramiento y compactación del suelo y la infiltración muy reducida de agua provoca un déficit de humedad mucho mayor del que produciría un espaciamiento menor con una mayor población vegetal, manteniendo el suelo "abierto" con buena infiltración de lluvia.

De modo que, según los autores del ensayo representado en el cuadro 7-14, la disminución del espaciamiento puede resultar un medio para elevar la cosecha por hectárea.

Se comprueba que las mayores cosechas se consiguen con el espaciamiento menor, de 60 cm entre las líneas, pero sólo 3 plantas por metro lineal, y los menores rendimientos se obtienen con el espaciamiento mayor de 100 cm entre las líneas.

Resultados semejantes fueron obtenidos en otros cultivos, inclusive en el café. Aunque el área foliar sea mayor, transpirando más agua, la infiltración es mucho mayor, compensando esta "pérdida". La protección del suelo contra el encostramiento es importante jus-

Cuadro 7.14 *Espaciamiento y densidad de plantación en cultivo de algodón* (G. hirsutum L.), *en el norte de Minas Gerais* (**Buenda y Purcini**, *1974*)

Plantas por metro lineal	*Espaciam. 60 cm* N° plantas/ha	rendim. kg/ha	*Espaciam. 80 cm* N° plantas/ha	rendim. kg/ha	*Espaciam. 100 cm* N° plantas/ha	rendim. kg/ha
3	50.000	2.030	37.500	1.714	30.000	1.482
5	83.333	1.978	62.500	1.883	50.000	1.522
7	116.667	1.974	67.500	1.683	70.000	1.338
9	150.000	1.726	112.500	1.967	90.000	1.331

tamente en zonas con mala distribución de lluvias, ya que permite el aprovechamiento de *todas* las precipitaciones caídas. El agua que se escurre no sirve para regar las plantas, sólo para aumentar las crecientes.

La protección de la bioestructura o de los grumos del suelo se hace:

1. por la protección de la superficie del suelo contra el impacto del agua
   a) por cobertura muerta;
   b) por la vegetación densa. Esta puede ser conseguida con un espaciamiento menor, cultivos consociados o la implantación de "cultivos protectores" (ver capítulo 9). Esta protección a la superficie impide la destrucción de los grumos y con ello la formación de costras superficiales y de adensamientos;
2. por el retorno periódico de la materia orgánica para renovar los grumos. Para eso debe *ser superficialmente mezclada* a la tierra;
3. por la fertilización química dirigida hacia los microorganismos descomponentes de la materia orgánica (71);
4. por la arada poco profunda o arada mínima. Si es preciso, ésta debe ser suplementada por una subsolación. En suelos sin compactaciones la subsolación no es necesaria. Es importante que todos los trabajos en el campo sean hechos con poca humedad en la tierra. Los suelos muy húmedos se arruinan con la arada o la subsolación, debido al efecto sellador de los implementos agrícolas al deslizarse en la tierra;
5. por la rotación de cultivos, para promover la multiplicidad de la microvida (ver capítulos 5, 6 y 9);
6. evitando el fuego.

Todas estas técnicas buscan exclusivamente mantener los grumos y con ellos, los macroporos del suelo que son los responsables por la infiltración de agua y la circulación de aire, indispensables para un metabolismo activo de las plantas y para la penetración más profunda de las raíces vegetales.

Cuando falta la cobertura del suelo durante la época de sequía, una irrigación por aspersión, que mantenga los grumos con un 20 % de humedad, protege los suelos arcillosos contra la primera lluvia primaveral que puede destruir sus grumos.

La "quema", tan "apreciada" al final de la sequía, es un agente poderoso de destrucción de la bioestructura del suelo. En el capítulo 9 se mostrará el efecto del fuego sobre la densidad del suelo y su rechazo al agua (79).

En zonas pastoriles se debe evitar el "sobrepastoreo" de los campos en épocas húmedas o secas, y recuperar la estructura del suelo por un manejo adecuado de las pasturas. Esto incluye, imperiosamente, una vez por año un reposo prolongado, hasta la floración de los pastos, y el uso del "rolo faca" o rodillo con cuchillas en lugar del fuego (79).

El abandono de la tierra en la agricultura itinerante para pasturas o matorrales sin cultivar no buscaba en especial el enriquecimiento del suelo con nutrientes disponibles, que nunca podía ser mayor que el CTC del suelo, y que por lo mismo, en tierras tropicales no podía ser elevado. El fin de este método es recuperar la bioestructura por el triple efecto de la cobertura perenne (ver introducción):

— proteger el suelo contra el impacto de la lluvia,
— aflojar el suelo por la acción radicular,
— enriquecer el suelo con materia orgánica que tanto contribuye para la mayor estabilidad de los grumos como para el aumento de CTC.

Se debe distinguir entre los cultivos perennes y la cobertura perenne. En cultivos perennes, generalmente gran parte del suelo permanece desnuda, gracias a las frecuentes rastreadas o a los herbicidas. En la cobertura perenne el suelo está cubierto por una vegetación herbácea o arbustiva. Normalmente, una pastura nativa cubre el suelo, mientras que la pastura no nativa muchas veces no consigue cubrirlo. Así, por ejemplo, con el "capim colonião"[8], hasta el 80 % del suelo puede quedar desnudo, consiguiéndose la "cobertura" sólo cuando el pasto está crecido. Cuando ya va siendo utilizado en la pastura, las áreas descubiertas son frecuentes (ver capítulo 10). Por lo tanto, los agricultores dicen: "cuando el pasto (capim) va disminuyendo, las invasoras van apareciendo".

Resumen

La bioestructura o estructura grumosa de la superficie del suelo se forma por la agrupación de agregados primarios, formada por atracción electroquímica, por sustancias húmicas y "cola" bacteriana. Consigue su estabilidad al agua, especialmente por hifas de hongos y actinomicetos, que se nutren de la "cola" bacteriana.

Por lo tanto, *la bioestructura es temporaria y necesita de renovación periódica.* Esta renovación se hace por la incorporación superficial de materia orgánica y la aplicación de fertilizantes, en especial fósforo y calcio, para una actividad dirigida de microorganismos (45, 87).

Las ventajas de la bioestructura son: la infiltración rápida de agua, la circulación de aire y la fácil penetración de las raíces en el suelo. Cuando no está protegida por una capa protectora, sea ésta de restos orgánicos o una vegetación que cubre el suelo, la bioestructura es destruida por el impacto de las lluvias. Se forman costras superficiales y compactaciones subsuperficiales que impiden la penetración del aire, agua y raíces. Consecuentemente tiene lugar una pérdida drástica de la cosecha, causada por la absorción deficiente de nutrientes, un metabolismo muy lento y la falta de agua. Suben los "riesgos climáticos".

La conservación de la grumosidad, y con ello la productividad del suelo, se hace con:

1. la incorporación superficial de los restos orgánicos junto con la fertilización,
2. la protección de la superficie del suelo contra el impacto de las lluvias, ya sea con una cobertura muerta o con un espaciamiento menor entre los cultivos, por un cultivo consociado, o por un "cultivo protector", que se intercala,
3. una fertilización completa y equilibrada con macro y micronutrientes, para conseguir lo más rápidamente posible el "cerramiento" del suelo,
4. una vegetación herbácea perenne (pasturas).

Los pastos son considerados como los mejoradores más eficientes de la bioestructura. La erosión, las crecientes y la sequía son los síntomas visibles de la pérdida de la bioestructura.

MEDIDAS DE CONSERVACION DE LA PERMEABILIDAD EN PASTURAS

Muchas veces se cree que la única manera de airear el suelo es ararlo y revolverlo. Sin embargo, un suelo agrícola se airea protegiendo su bioestructura, renovándola pe-

[8] Uno de los mejores pastos de producción de carne en Brasil. (*J.S.M.*)

riódicamente, es decir, cuidando sus macroporos. Un suelo de arroz irrigado se airea drenándolo, desocupando sus macroporos de agua. Un suelo pastoril con cobertura total se airea mediante la vegetación, por un reposo de la pastura y el fortalecimiento de las raíces, usándose el forraje para la cosecha del heno; con eso se aumentan los macroporos.

Las pasturas permanentes en suelos arenosos pueden sufrir de erosión con la misma facilidad que las labranzas mal conducidas.

El pisoteo de los animales "revienta" el césped, especialmente cuando el suelo está húmedo, dando a la lluvia la posibilidad de golpear en el terreno desnudo. El mismo efecto ocurre con un sobrepastoreo en la estación seca o usando descontroladamente el fuego.

Cuanto más extensivo es el manejo de una pastura, tanto más seria será la erosión; existen empresas que abandonaron sus tierras pastoriles debido a la gravísima erosión de éstas. La erosión siempre se instala en las zonas desnudas del suelo. Eso puede ocurrir por herbicidas que se usan para combatir a las invasoras, por las pasturas mal conducidas, incluyéndose aquí el sobrepastoreo de distintas áreas y el intenso pisoteo animal, o en pasturas sembradas mal manejadas.

La erosión es frecuente en pasturas con pastoreo permanente, donde los animales van dejando zonas desnudas de terreno. Especialmente cuando se trata de pasturas implantadas, el sistema radicular después de alrededor de dos años de uso, se restringe a la capa superficial hasta 3 cm de profundidad. Por lo mismo, sufren la sequía con mucha facilidad. Los animales, en busca de forraje verde, desnudan los lugares donde todavía hay alguna vegetación comestible. El suelo desnudo comienza a deslizarse y cuando se inician las lluvias también se inicia la erosión.

La erosión siempre se inicia en terreno desprotegido. Por ello también es de gran importancia cambiar los panes de sal de vez en cuando y cerrar los bebederos alternadamente, para que el suelo no sea pisado intensamente en el mismo lugar, se recupere, y la vegetación pueda volver.

El descanso de la pastura, generalmente, aumenta el sistema radicular. Por eso es una de las medidas que más contribuye para la conservación del suelo pastoril. En el manejo rotativo, las raíces se concentran tanto cerca de la superficie como en la pastura permanente, si no son intercalados mayores descansos y, tal vez, un año sólo con heno.

Cuando el suelo es muy pobre, el descanso no contribuye para que los sistemas radiculares se profundicen. Se debe echar mano a la fertilización, especialmente la fosfocálcica, usando fertilizantes de poca solubilidad en agua como, por ejemplo, escorias Thomas, hiperfosfato, harina de huesos y otros, que siempre deben ser aplicados en primavera.

Para fortalecer las pasturas para la estación de la sequía es indicada una fertilización nitrogenada en otoño. Cuanto mejor esté la pastura, tanto menor será el daño que produzca el intenso pisoteo, y tanto mejor la conservación del suelo pastoril. El sobrepastoreo y el pisoteo de los animales durante la sequía provocan una segura erosión.

En muchas partes del mundo todavía existe una especie de nomadismo pecuario, denominado *trashumancia*, y que consiste en la transferencia de los rebaños, en la estación seca, hacia las montañas o hacia los valles donde la vegetación verde en abundancia permite el alimento de los animales mientras descansan las pasturas anteriores. Este sistema existe hasta en Roraima, donde los rebaños, por instinto, buscan las pasturas a las orillas de los ríos, sin considerar propiedades ni propietarios. Mientras el nomadismo era practicado en Africa, no había erosión. Ella comenzó en forma violenta cuando las tribus se tornaron sedentarias y las pasturas fueron agotadas en la estación seca, debido al exceso de animales.

La dotación excesiva no se calcula en animales por hectárea, sino en animales relativos al forraje existente. Y mientras 4 animales/hectárea en la estación de aguas se puede considerar una cantidad baja, 0,5 animal/ha durante la sequía puede ser una dotación excesiva. Depende, pues, de la pastura, su manejo, y la adaptación ecológica de las forrajeras.

En el sistema de engorde, la pastura descansa durante la sequía. En el sistema de cría falta este descanso. Por lo tanto, el descanso debe estar bien planeado para mantener la pastura productiva.

Resumen

El mantenimiento del suelo pastoril depende de su fertilidad y del descanso que reciba en la estación seca, así como del desarrollo radicular durante la estación de las lluvias.

Tanto el pastoreo permanente como el rotativo pueden destruir la bioestructura del suelo, y con ello su productividad si falta el descanso. El pisoteo intenso, con todas sus consecuencias, ocurre también en el pastoreo permanente, ya que el ganado selecciona el pasto a comer y prefiere las áreas con vegetación nueva, es decir, las que fueron pastadas recientemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Ahmed, S.; S. Windale** e **S. A. El-Swaify,** -1969- Effect of absorbed cations on physical properties of tropical red earth and tropical black earth. *Soil Sci. 20(2):255-68.*
2. **American Society of Agricultural Engineers** -1971- Compaction of agricultural soils. *Basselmann, Michigan.*
3. **Bandy, D. E.** e **R. B. Musgrave,** -1975- Management of water stress periods. *Agron. -Econ. Res. on tropical soils, Ann. Rep. 1975:65-111.*
4. **Batey, Th.** -1973- Uso e manejo do solo tropical. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RGS.*
5. **Baver, L. D.** -1968- The effect of organic matter on soil structure. *Prog. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria/RGS.*
6. **Blake, G. R.** e **J. B. Page,** -1948- Direct measurement of gaseous diffusion in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13:37-42.*
7. **Bertoni, J.** e **F. I. Pestana,** -1964- Relação chuva/perdas por erosão em diferentes tipos de solo. *Bragantia, 23:3-11*
8. **Blanchet, R.** -1972- Fertilizer use and ecologial factors. *Scient Varia, 38(2):363-401.*
9. **Bouchard, L.** -1967- Étude de l'évolution des sols sous cultures en liaison avec l'étude de la regéneration de la fertilité. *Coll. Fert. Sols Tropic. (Madagascar) 15:8-30.*
10. **Buenda, J. P. L.** e **A. A. C. Purcine,** -1973/74- Espaçamento e densidade de plantio na cultura algodoeira *(G. hirsutum L.) no Norte de Minas Gerais. EPAMIG Proj. Algodão, Rel. An. :206-220.*
11. **Cerny, V.** -1966- Alteration of the physical state of soil and its effect on plants. *Sb. Ref. mzin. véd. Symp. Bré. pp 77-91.*
12. **Clark, A. L.; D. J. Greenland** e **J. P. Quink,** -1967- Changes of the physic properties of the enpoverished soil surface of a red brown grassland soil. *Austral. J. Soil Res. 5:59-68.*
13. **Clement, C. R.** -1964- The growth of cereals under soil conditions characteristic to an unstable tilth. *Plant & Soil, 20:265-70.*
14. **Corsini, P. C.** -1974- Modificações de características físio-hídricas em perfis das séries Jaboticabal e Santa Teresa, ocasionadas pelo cultivo intenso. - *Cientif. 29(2):148-68.*
15. **Czeratzki, W.** -1972- Die Ansprüche der Pflanze an den physikalischen Bodenzustand. *Landbauf. Völkenrode, 1:29-36.*
16. - - - - - - - -, -1972- Der Einfluss hoher Gaben von Kalkhydrat auf Plastizität, Krümelstabilität und Wasseraufnahme des Bodens. *Mitteilg. Dtsch. Bodenkd. Gesell. 15:56-58.*
17. **Davidson, J. M.; F. Gray** e **D. I. Pinson,** -1967- Changes of organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J. 58(4):375-78.*
18. **Deshaude, T.L.; D.J.Greenland** e **J.P.Quink,** -1967- Changes of soil properties with removing Fe and Al oxydes. *Soil Sci. 19:108-22.*
19. **Denker, C.H.** -1961-Lanwirtschaftliche Stoff und Maschinenkunde. *Parey, Berlin-Hamburg*
20. **Donahue, R. L.; J. C. Schickluna** e **L. S. Robertson,** -1972- Soils, an introduction to soil and plant growth. *Prentice-Hall, New Jersey.*
21. **Elgabály, M. M.** e **W. M. Elgahamry,** -1970- Water permeability and aggregate stability of caolinits, influenced by different cation absorption. *Soil Sci. 110:107-10.*
22. **EMBRAPA,** -1977- Síntese da Reunião sobre plantio direto. *Centro Nac. Pesq. Soja. Londrina.*
23. **Foglino, E.** -1965- La lotta antierosiva en Ecuador. *Riv. Agr. Subtrop. Trop. 59:10-12.*
24. **Franzs, H.** -1960- Feldbodenkunde, *Fromme, Wien*

25. - - - - - - - - -1964- Die Bedeutung des biologischen Geschehens für den Bodenfruchtbarkeitszustand. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 108(2):123-28.*
26. **Gallo, J. R.** e **O. Rodriguez,** -1960-Efeito de algumas práticas de cultivo do solo, na nutrição mineral dos citrus. *Bragantia, 19(1):345-60.*
27. **Gomes, A. S.; J. F. Patella** e **E. A. Pauletto,** -1978- Efeitos de sistemas e tempo de cultivo sobre a estrutura de um solo podzólico vermelho amarelo. *Rev. bras. ciênc. solo 2(1): 17-20.*
28. **Gomes, A.G.; H. Gargantini** e **W. R. Venturini,** -1963- Competição entre fertilizante nitrogenado orgânico e mineral na cultura de batatinha. *Bragantia, 22(46):575-81.*
29. **Görbing, J.** -1944- Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau. *Landbuch-Vlg. Hannover.*
30. **Grabbe, D. R.** e **E. G. Siermer,** -1968- Effect of bulk density on elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(1):180-88.*
31. **Grohmann, F.** -1960- Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia, 19(21):319-27.*
32. - - - - - - - -, -1960- Análise de agregados do solo. *Bragantia, 19(1):201-14.*
33. - - - - - - - -, e **J.P.Queiroz Neto, de,** -1966- Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argiloso sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia, 25(38):421-32.*
34. - - - - - - - -, **J. Oliveira** e **J. P. Queiroz Neto, de,** -1966- Influência da adubação nas características dos agregados do solo da série Chapadão. *Bragantia, 5(24):263-70.*
35. **Grosse, B.** -1970- Die Sandböden und die Möglichkeiten ihrer Verbesserung. *Kali-Briefe, 1/1*
36. **Hanus, H.** -1968- Permeabilitätsmessungen mit Luft und Wassermodellproben. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 120(2):131-40.*
37. **Hartge, K. H.** -1966- Einfluss der Porengrössenverteilung auf Ertrag von Salat und Sellerie bei K und Düngungsversuchen. *Z. Pfanzenern. Düng. Bodenkd. 112(2):114-21.*
38. **Hudson, J.C.** -1965- Agronomic use of a soil survey in Barbados. *Exp. Agr. 1(3):215-24.*
39. **Kamprath. E. J.** -1972- citado em **Sanchez,** 1972: A review of soil research in tropical Latin America. *Soil Sci. Dept. North Carolina State Univ. Raleigh. Contr. AID/csd 2806, pp 167-82.*
40. **Katznelson, H. A.; G. Lochhead** e **M. I. Timonin,** -1948- Concentration of microorganisms on the root surface. A review; *Bot. Rev. 14:543-62.*
41. **Kellermann, V. V.** e **I. G. Tsyrupa,** -1966- Role of iron and organic matter in the aggregation of the soil components. *Pochvov. 8:940-47.*
42. **Köhler, R.** -1951- Der biotechnische Ackerbau. *Bayerischer Landw. Vlg. München.*
43. **Kovda, V. A.** -1966- Scientific fundamentals of soil melioration in the USSR. *Pochvov. (Amer. Issue), 11:1213-16.*
44. **Küpper, H.; F. Grohmann** e **C. M. Franco,** -1977- A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. *An. congr. bras. pesq. cafeeira, Guarapari, E.S.*
45. **Köpf, H.** -1961- Neue Ergebnisse der Bodenbiologie. *Jb. vaterl. Naturkde. Württemberg, 116:266-78.*
46. **Larson, W. E.** e **R. R. Allmaras,** -1971- Management factores and natural forces as related to compaction. Em **Barnes:** Compaction of agricultural soils, *Amer. Soc. Agr. Eng. Mich. p 367-430.*
47. **Leenher, L. de** e **M. S. De Boodt,** -1966- Factors and forces on soil structure. Em: **Schàrrer & Linser,** Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. *Springer, Wien-New York, Vol. II(1):180-226.*
48. **Leme, H. A. de,** -1956- Contribuição para o estudo da influência da profundidade de trabalho de arado na produção agrícola. *An. E. S. A. "Luiz Queiroz", p 97-111.*
49. **Lugo-Lopez, M.; A. J. Juarez Jr.** e **R. P. Escalar,** -1970- Correlation between the rate of water intake of tropical soils at hourly intervales to the eight hour. *J. Agr. Univ. Puerto Rico, 54(3):570-75.*
50. **Machado, J. A.** -1976- Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo. *Tèse de livre Doc. Sta. Maria/ /RGS.*
51. **Mannering, J. V.; I. D. Meyer** e **C. B. Johnson,** -1966- The influence of minimum tillage on infiltration and erosion in corn crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(1):101-05.*
52. - - - - - - - -, -1975- Apresentação de programas de pesquisa em conservação do solo nos

Estados Unidos. *EMBRAPA, I Encontro nacional sobre pesquisa de erosão com simuladores de chuva, Londrina, p 73-106.*

53. **Marques, A.; J. Bertoni** e **G. B. Barreto,** -1961- Perdas por erosão no Estado de São Paulo, *Bragantia, 20(47):1143-82.*
54. **Mascarenhas, H. A. A.; S. Miyasaka** e **L. A. C. Lovadini,** -1967- Efeito da adubação verde do feijoeiro "da seca" com *Crotalaria juncea L.* empregando-se toda a vegetação ou retirando-se do campo as hastes despojadas de suas folhas. *Bragantia, 26(17):220-34.*
55. **McNeal, B. L.; D. A. Layfield; W. A. Norwell** e **J. D. Rhoades,** -1968- Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(2):187-90.*
56. **Miranda, E. R.** e **A. C. C. P. Dias,** -1971- Efeito da saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. *Theobroma, 1(3):33-42.*
57. **Miyasaka, S.; A. P. Camargo** e **B. Inforzato,** -1966- Efeitos da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta na cultura do feijoeiro. *Bragantia 25(32):349-69.*
58. **Molina, J. S.** -1968- La decomposición aeróbia de la cellulosa y la estructura activa de los suelos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RGS. p 17-24.*
59. **Müller, G.** e **W. Hiecke,** -1968- Aspekte bei der Krümelstabiliserung durch Bakterienpolysaccharide. *A. Thaer Arch. 12(5):425-33.*
60. **Oliveira, L. B. de; H. S. Dantas, de; A. B. Campelo; S. J. Galvão** e **I. F. Gomes,** -1968- Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de "Tabuleiro" da Estação Experimental do Curado, Recife. *Pesq. agropec. bras. 3:207-14.*
61. - - - - - - - -, - 1968- Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. *Pesq. agropec. bras. 3:197-200.*
62. **Parish, D. H.** -Effects of compaction on nutrient supply to plants. Em: **Barnes,** Compaction of agricultural soils. *Basselmann, Mich. p.277-91.*
63. **Périgaud, S.** -1965- Effect du resistance mechanique e du manque de oxygène sur la croissance des racines. *Compt. Rend. Acad. Agric. France, 51:1209-20.*
64. **Potapov, B. I.** -1966- Influence of moisture content and soil compaction on the soil maximum shear strength. *Pochvov. (Amer. Issue) 4:396-98.*
65. **Primavesi, A.** -1952- A Erosão. *Melhoramentos, São Paulo.*
66. - - - - - - - - e **A. M. Primavesi,** -1964- Factors responsibles for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa Estruturada in eastern Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28 (5):578-80.*
67. - - - - - - - -, -1965- Weizenerträge in Beziehung zur Bodenstruktur und Wurzelentwicklung. *Bodenkult. 1(2):50-8.*
68. - - - - - - - -, -1962- O diagnóstico bio-físico da terra. *Imprens. Univ. Sta. Maria/RGS.*
69. - - - - - - - -, -1968- A manutenção da estrutura ativa do solo e sua influência sobre o regime hídrico do solo. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RGS. p 447-62.*
70. **Primavesi, A. M.** e **A. Primavesi,** -1968- Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria/RGS, p. 253-68.*
71. - - - - - - - - e - - - - - - - -, -1973- Agregação de solos ácidos arenosos pelos produtos da atividade de bactérias celulolíticas na decomposição semi-aeróbia de palha. *XVI congr. bras. ciência solo, Sta. Maria/RGS.*
72. **Reeder, S. W.; M. A. Arshad** e **W. Odynsky,** -1967- The estability of structure and chemical properties of some solonetzig soils in NW Alberta. *Canad. J. Soil Sci. 47:231-37*
73. **Roman. E. S.** -1977- *Na reunião sobre plantio direto, resumo dos trabalhos apresentados pela ICI do Rio Grande do Sul. p. 52-53.*
74. **Russell, E. W.** -1961- Soil conditions and plant growth. *9 ed. Longmans & Green, London.*
75. - - - - - - - -, -1968- A importância da estrutura ativa do solo na história da humanidade. *Progr. Biodin. Produt. Solo. p 269-84.*
76. **Sanchez, P. A.** -1972- The review of soil research in tropical Latin America. *AID, csd. 2806 Soil Sci. Dpt. North Carolina State Univ. Raleigh.*
77. **Santoro, T.** e **G. Stotzky,** -1967- Influence of cation floculation of clay minerals by microbial metabolites, as determinated by the electrical sensing zone particle analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(6):761-65.*

78. **Sauberan, C.; J. S. Molina** e **G. H. Lundenberg,** -1968- Recuperación biológica de suelos sódicos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria/RGS, p 293-98.*
79. **Savage, S. M.; J. Osborn; J. Letey** e **C. Heaton,** -1972- Substances contributing to fire induced water repellance in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(4):674-78.*
80. **Schahabi, S.** e **V. Schwertmann,** -1970- Wirkung steigender Kalkgaben auf die Wasserstabilität der Bodenaggregate in zwei sauren Böden, *Landw. Forschg. 23(2):134-41.*
81. **Scheffer, F.** e **O. Thornau,** -1953- Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaus. *Parey, Berlin.*
82. **Schendel, V.** -1967- Probleme des Wasserhaushaltes, der Bodenerosion und der Bewässerung in wärmeren Klimazonen. *Kulturtech. u. Flurber. 8(2):68-84.*
83. **Secretaria de Agricultura, SP.** -1978- Conservação do solo.
84. **Sekera, F.** e **A. Brunner,** -1943- Beiträge zur Methodik der Gareforschung. *Z. Bodenkd. u. Pflanzenern. 29:169-212.*
85. - - - - - - - -, -1953- Der gesunde und der kranke Boden, *Parey Berlin.*
86. **Silva, T. C. A. da** e **S. Figuereido, de** -1975- *I encontro nacional sobre pesquisa de erosão com simuladores de chuva. Programação de Minas Gerais. p. 62-72.*
87. **Stefanson, W.** -1971- Influence of perjodat and phosphate on seasonal oscilations of aggregate stability. *Austral. J. Soil Sci. Res. 9:33-41.*
88. **Stevenson, D. S.** -1967- Wirksames Bodenvolumen und seine Bedeutung für das Wurzel und Sprosswachstum. *Canad. J. Soil Sci. 47:163-74. (ref. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 119 (2):158).*
89. **Suarez de Castro, F.** -1957- Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. *Fed. Nac. Cafetaleros de Colombia, Bol. Tec. 2.*
90. **Taylor, H. M.** e **H. Gardener,** -1964- Penetration of cotton seedling tap roots as influenced by bulk density. *Soil Sci. 96(3):153-56.*
91. **Taylor, H. M.** e **E. Burnett,** -1963- Some effects of compacted soil pans on plant growth in the southern Great Plains. *Soil Sci. 18(6):235-36.*
92. **Tisdale, S. L.** e **L. W. Nelson,** -1965- Soil Fertility and Fertilizers. *MacMillan, New York.*
93. **Vetter, H.** -1970- Probleme der Bodenbearbeitung mit zu schweren Schleppern. *Kali-Briefe, 2/2.*
94. **Viegas, G. P.; J. Andrade Sbrº** e **W. R. Venturini,** -1963- Comportamento dos milhos H-699, Asteca e Cateto em três níveis de adubação e três espaçamentos, em São Paulo. *Bragantia, 22(8):201-30.*
95. **Volk, G.M.** e **D.P.Hengel,** -1970- Aggregation of mineralic and organic substances in Rutlege Ona Leone fine sand. *Soil Sci. 110:33-38.*
96. **Voorhee, W. N.; R. R. M. Ameniya Alimaras** e **W. E. Larson,** -1971- Some effect of aggregate structure heterogeneity on root growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(4): 638-43.*
97. **Wagner, H. O.** e **H. Lenz,** -1963- A Floresta e a Conservação do Solo. Trad. **Primavesi. A.** *Melhoramentos, São Paulo.*
98. **Williams, B. G.** e **outros,** -1966- Methods for determination of aggregate stability. *Soil Sci. 101(1):137-63.*
99. **Wiersum, L. K.** -1961- Utilization of soil by plant root system. *Plant & Soil, 15:189-92.*
100. **Wrigley, G.** -1969- Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*
101. **Wambeke, A. van,** -1975- Propriedades que influem en el manejo de los Oxisoles en ecosistemas de sabana: Manejo de suelos en la America Tropical. *Univ. Cons. on Soils of the Tropics, North Carol. State Univ. Raleigh, p 371-79.*
102. **Lombardi Neto, F.** e **F. I. Pestana** -1972- Relação chuvas-perdas por erosão. *Bragantia, 31(19):227-34.*

Capítulo 8

FERTILIZACION Y NUTRICION VEGETAL

La planta es el eslabón que existe entre la materia muerta, los minerales, los animales y el hombre. Solamente ella es capaz de transformar minerales en proteínas, ácidos, grasas y azúcares. Sólo ella es capaz de utilizar la energía solar para sus procesos bioquímicos. Si no existiese la planta, no habría vida.

El mineral que la planta retira del suelo y transforma en sustancias orgánicas vuelve a ser mineral, formando parte del suelo, en un ciclo misterioso de vida y muerte.

Por eso se reza en el bautismo: "Recuerda que eres polvo y al polvo volverás". Este "memento mori" nos debe hacer recordar mucho más. Nos debe hacer recordar que nuestro cuerpo está constituido de minerales provenientes de la tierra y que volverán a ella. Podemos recibir sólo lo que la tierra tiene y nos da. Si faltare algún mineral, no sólo faltará para la planta, sino también para el hombre. Es por eso que los pueblos prosperan mientras sus tierras son fértiles, y desaparecen cuando sus tierras decaen (242, 262). ¡Cuántas naciones y pueblos ya pasaron por la faz de este mundo! Pasaron y desaparecieron, porque en el progreso y bienestar se olvidaron de sus tierras y de su origen del suelo. ¡*Tierras buenas, pueblos dinámicos; tierras agotadas, pueblos indolentes y enfermos*! (8, 25, 81).

Ningún avance técnico puede desligarnos del hecho de que nuestro origen es el suelo y a él volveremos. Aun viviendo en ciudades de cemento, asfalto y vidrio, los alimentos vendrán del suelo, y a él le devolveremos lo que recibimos.

¡Qué poco nos interesó este suelo!

Sólo nos servía para obtener dinero, despojarlo, agotarlo, arruinarlo y abandonarlo, mudándonos para otro terreno intacto en una agricultura itinerante. Obtenemos lucro del suelo, pero de él también obtenemos nuestra vida, nuestra salud y nuestra vitalidad. Si el suelo es malo, la salud y la economía también lo serán (100).

Todos conocemos los síntomas de deficiencia en las plantas; hay muchos libros ilustrativos sobre ello (158, 235, 270, 297), y ningún autor sobre nutrición vegetal se olvida de dedicar un capítulo a los síntomas visibles de la deficiencia mineral en el vegetal. Pero como el vegetal es fuente, casi exclusiva, de minerales para el mundo animal incluyendo al hombre, no sabemos cómo se puede imaginar que el hombre no presente las mismas deficiencias del vegetal. Si falta cobre o boro para la planta, consecuentemente también faltarán para el animal y para el hombre. ¡Lo que la planta no retire del suelo, el hombre no podrá recibirlo!

Pero el camino no es tan recto, y por la absorción selectiva tanto del hombre como de la planta, la composición mineral de éstos difiere de la existente en la roca.

El agua completa un 80 a un 95 % de la planta, pero no es aquí tratada, porque tratamos la materia seca. También en el hombre son computados sólo los minerales.

Pero el suelo no es roca. La planta no consigue absorber los minerales en forma sólida. Estos deben ser disueltos en agua y mantenidos disponibles para la planta en la capa intemperizada, que está animada por microorganismos y pequeños animales: el suelo.

Cuadro 8.1 *Composición de roca, planta y hombre*

Elemento	*Litosfera (roca)* %	*Troposfera (aire)* %	*Planta (mat. seca)* %	*Hombre* %
carbono	—	0,03	43,57	55,99
oxígeno	46,60	20,95	44,00	14,62
hidrógeno	—	0,00005	6,24	7,46
nitrógeno	—	78,09	1,46	9,33
silicio	27,72	—	1,17	0,005
aluminio	8,13	—	0,11	—
hierro	5,00	—	0,08	0,012
calcio	3,63	—	0,80	4,67
sodio	2,83	—	0,05	0,47
potasio	2,59	—	1,92	1,09
magnesio	2,09	—	0,18	0,16
azufre	rastros	—	0,17	0,78
fósforo	rastros	—	0,20	3,17

Obs.: La litosfera es la capa sólida del globo terrestre hasta 12 km de profundidad (Fuente **Mohr** y **Baren**, 1954.)

Lo importante es la disponibilidad de los elementos nutritivos, y no su tenor total. Es comparable al hombre para quien es importante el dinero que posee en su cuenta, a su disposición, y no le interesa el total del dinero que el banco guarde en su cofre, ya que le es inalcanzable. La planta también, no puede vivir de la riqueza total del suelo en minerales, sino sólo de aquella que puede alcanzar y absorber. Es decir, interesan los minerales que pueden entrar en solución y que puedan ser alcanzados por la raíz.

$$\textit{Fase mineral} \rightleftharpoons \textit{complejo de cambio} \rightleftharpoons \textit{en solución en el agua del suelo}$$

Sin embargo, la simple disponibilidad de los minerales no hace que el suelo produzca. Se necesitan condiciones para la absorción y metabolización de estos minerales por la planta, y que se resumen en: agua en el suelo para actuar como solvente, oxígeno en el suelo para la absorción activa de los minerales (182), y espacio para que la raíz pueda desenvolverse.

LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

El suelo sólo produce cuando todos los factores están equilibrados (241). La fertilidad es tan sólo uno de los factores de producción, aunque no hay duda de que los minerales son básicos para la nutrición vegetal. Pero tampoco hay duda de que la absorción y la metabolización son tan importantes como su presencia y disponibilidad en el suelo. La sola presencia del elemento nutritivo todavía no nutre a la planta (64).

El suelo contiene muchos elementos minerales que la planta no utiliza o utiliza en escala muy reducida.

Se considera nutrientes a todos los minerales que la planta necesita para madurar y fructificar normalmente. Pero se sabe en la actualidad que este concepto es muy limitado, porque una planta consigue madurar y fructificar "normalmente" aun con la falta de alguno de esos elementos. Pero ella forma más sustancias, especialmente proteínas, es más sabrosa, más rica en carbohidratos y grasas y más resistente a las adversidades cuando también tiene otros elementos que no son considerados como esenciales por la escuela clásica. Por eso *se distingue entre plantas biológicamente integrales y biológicamente pobres.*

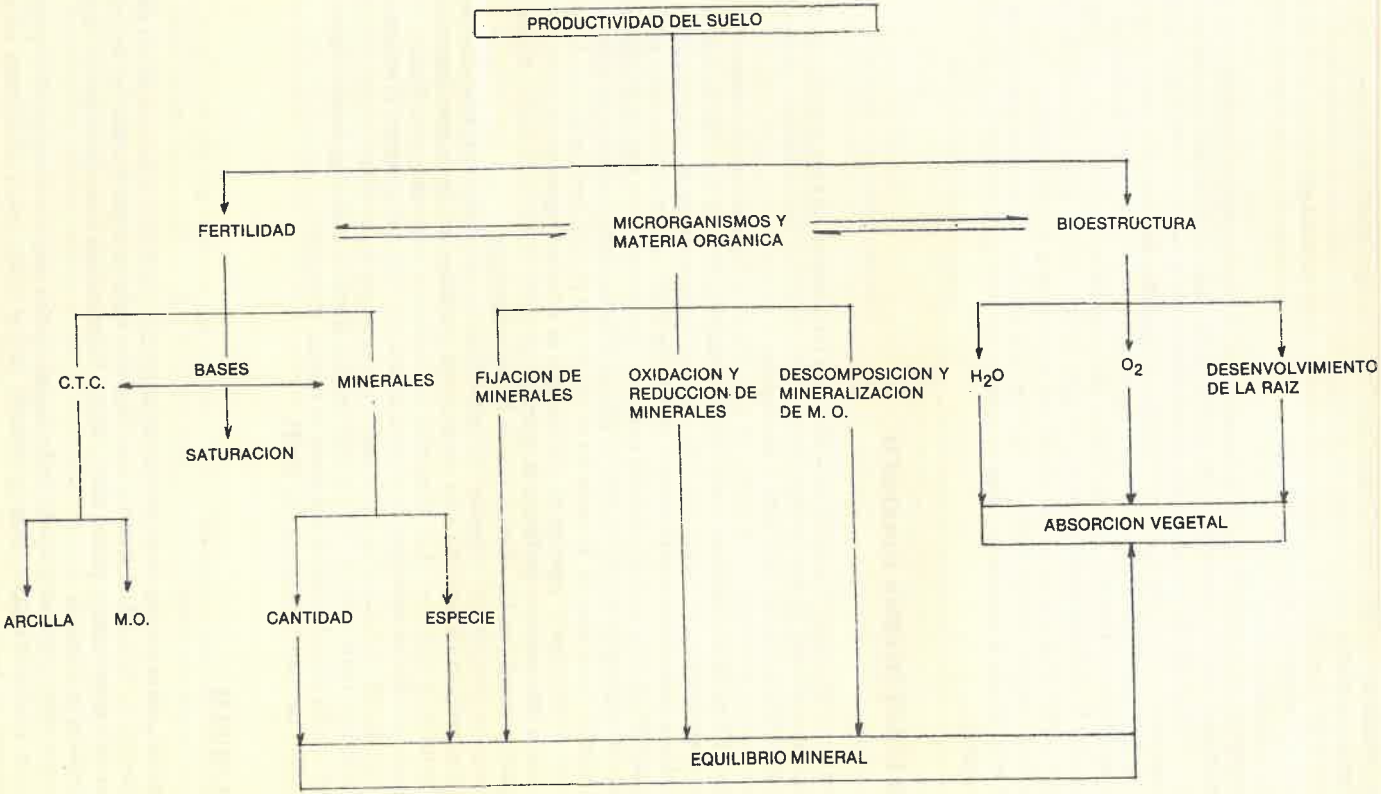

PRODUCTIVIDAD DEL SUELO
FERTILIDAD
MICRORGANISMOS Y MATERIA ORGANICA
BIOESTRUCTURA
C.T.C.
BASES
MINERALES
SATURACION
FIJACION DE MINERALES
OXIDACION Y REDUCCION DE MINERALES
DESCOMPOSICION Y MINERALIZACION DE M. O.
H_2O
O_2
DESENVOLVIMIENTO DE LA RAIZ
ABSORCION VEGETAL
ARCILLA
M.O.
CANTIDAD
ESPECIE
EQUILIBRIO MINERAL

Fig. 8.1

Así, por ejemplo, el silicio no está considerado esencial, pero todas las plantas lo contienen para fortalecer su estructura. Cuanto más inhóspito es el medio ambiente, tanto más silicio contendrá la planta, probablemente para defenderse contra las adversidades. El cromo aumenta la producción de las papas, y el cobalto, la de algunas gramíneas (17). El plomo no es nutriente vegetal, y aun así la avena produce mejor cuando recibe alguna mínima cantidad de este elemento.

Generalmente no se percibe la necesidad de un elemento cuando se desconoce su función. Sin embargo, nuestro desconocimiento de alguna cosa no es prueba de que ésta no exista. Los nutrientes necesarios para cada planta dependen no sólo de la especie, sino también de la variedad (223, 225). Los norteamericanos hablan, por eso, del *back-ground* o historia de la variedad, y nadie iría a fertilizar algún cultivo sin saber si éste es capaz de responder a la fertilización. Por eso, en Rio Grande do Sul el Banco de Brasil S.A. no financia fertilizantes para la variedad de soja Majós, ni para la variedad de arroz Farroupilla, porque sabe por experiencia que estas variedades no responden a la fertilización.

El problema no es intentar descubrir la "técnica mágica" que valga para todos los suelos, cultivos, climas y variedades, sino establecer los principios básicos que regulan la nutrición vegetal.

EL SUELO COMO SISTEMA DINAMICO

El suelo no es únicamente soporte para plantas y fertilizantes, ni roca molida con algunos elementos en solución. Es un sistema dinámico de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos.

Existen muchos minerales en el suelo, ya que éste está formado predominantemente por minerales. En parte se presentan como cristales intactos, todavía inaccesibles a la planta, en parte se encuentran en forma alterada, siempre listos a entrar en combinación con otros minerales, a precipitarse y a disolverse. Una parte se encuentra en solución o está adsorbida a la superficie de la arcilla o materia orgánica. Es un error creer que en el suelo existen solamente los elementos nutritivos para la planta. Hay muchos elementos de poca utilidad para el vegetal y aun tóxicos. El suelo no se adapta a la planta, pero cada tipo de suelo presenta predominantemente especies de plantas que se adaptan mejor en él *(ecotipos)*.

Según sea la interrelación biofísica, la química del suelo se altera, o mejor dicho, se adapta en conformidad con las alteraciones de la parte biofísica.

Los elementos pueden ser "fijados" o inmovilizados, oxidándose o reduciéndose o modificando su valencia de acuerdo a las condiciones biofísicas del suelo, que determinan la vida y la química, y viceversa. Así, elementos normalmente existentes, pero fijados o en formas inocuas, pueden ser movilizados o tornarse tóxicos, como el aluminio, el manganeso y el hierro en suelos compactados o adensados y ácidos, y el boro, el molibdeno y el selenio en suelos compactados salinos. Pero comprobamos que esta toxicidad ocurre solamente cuando las condiciones biofísicas del suelo se tornan extremas.

El indicador de estas condiciones es el pH.

EL pH DEL SUELO

Se transfirió esta expresión directamente del laboratorio químico al campo. El pH (potencial hidrógeno), en una solución en un vaso, significa nada más que la cantidad de iones de hidrógeno (H^+) disociados y, por lo tanto, libres. Cuantos más iones libres de H^+, tanto más ácida se torna la solución.

De ello se concluye que el suelo es ácido cuando posee muchos iones de H^+ y pocos iones de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) y sodio (Na^+) adsorbidos en su complejo coloidal, es decir, de cambio.

En parte es correcto, en parte se tomó el humo por el fuego, ya que el pH del suelo es como la temperatura del hombre. No es la causa, sino el indicador de una situación (258), que es anormal cuando alcanza valores extremos. Cuando el pH baja mucho más allá de sus límites, esto también indica un suelo compacto, sujeto a erosión (100). Lo mismo ocurre cuando el pH se desvía mucho para el lado alcalino, aunque sin embargo, la diferencia es que el primero es pobre en cationes disponibles, y el otro los tiene en exceso. Con relación a eso existen innumerables tablas que tratan de dar las preferencias de pH de los diversos cultivos, pero que dependen de las variedades plantadas, del suelo y sus condiciones biofísicas, y por ello siempre serán sólo una aproximación y nunca algo muy concreto.

Reproducimos la tabla de **Ignatieff** (1958), indicando las fajas de pH para diversos cultivos tropicales:

	pH
pH 3,5	
gomero *(Hevea brasiliensis)*	3,5 - 8,0
pH 4,0	
Té de la India *(Thea Sinensis)*	4,0 - 6,0
pH 4,5	
Café *(Coffea spp)*	4,5 - 7,0
Lespedeza *(Lespedeza japonica)*	4,5 - 6,5
pH 5,0	
Arroz *(Oryza sativa)*	5,0 - 6,5
Mijo *(Setaria italica)*	5,0 - 6,5
Algodón *(Gossypim hirsutum)*	5,0 - 6,0
Ananá *(Ananas comosa)*	5,0 - 6,5
pH 5,3	
Maní - cacahuete *(Arachis hypogaea)*	5,3 - 6,6
pH 5,5	
Maíz *(Zea mays)*	5,5 - 7,5
Sorgo *(Sorghum vulgare)*	5,5 - 7,5
Mucuna *(Stizolobium sp.)*	5,5 - 7,0
Batata *(Ipomoea batatas)*	5,5 - 6,0
pH 6,0	
Soja *(Glycine max. (L.) Merril.)*	6,0 - 7,0
Poroto *(Phaseolus vulgaris)*	6,0 - 7,0
Caña de azúcar *(Saccharum offic.)*	6,0 - 8,0
Banana *(Musa cultivare)*	6,0 - 7,5
Coco *(Cocos nucifera)*	6,0 - 7,5
Girasol *(Helianthus annuus)*	6,0 - 7,5
pH mayor que 6,0	
Alfalfa *(Medicago sativa)*	6,5 - 8,5

Las plantas que prefieren un pH muy bajo son sensibles a la falta de micronutrientes, en especial manganeso, hierro y cinc. Existen variedades de cultivos que soportan muy bien un pH bajo, como ocurre con el café, que tiene su mejor desarrollo en suelos con un pH entre 4,0 y 6,0, como muestra la figura 8-2. Eso, sin embargo, no quiere decir que no necesite calcio en cantidad mayor, pudiendo usarse hasta 2,2 kg/planta de calcáreo (91a).

No obstante, existen variedades de cultivos sensibles a suelos ácidos que soportan muy bien un pH bajo y una concentración mayor de aluminio, como por ejemplo, variedades de soja (hasta un 25 % de saturación de la CTC con aluminio), y trigo (hasta un 45 % de saturación de la CTC con aluminio) (6, 186a).

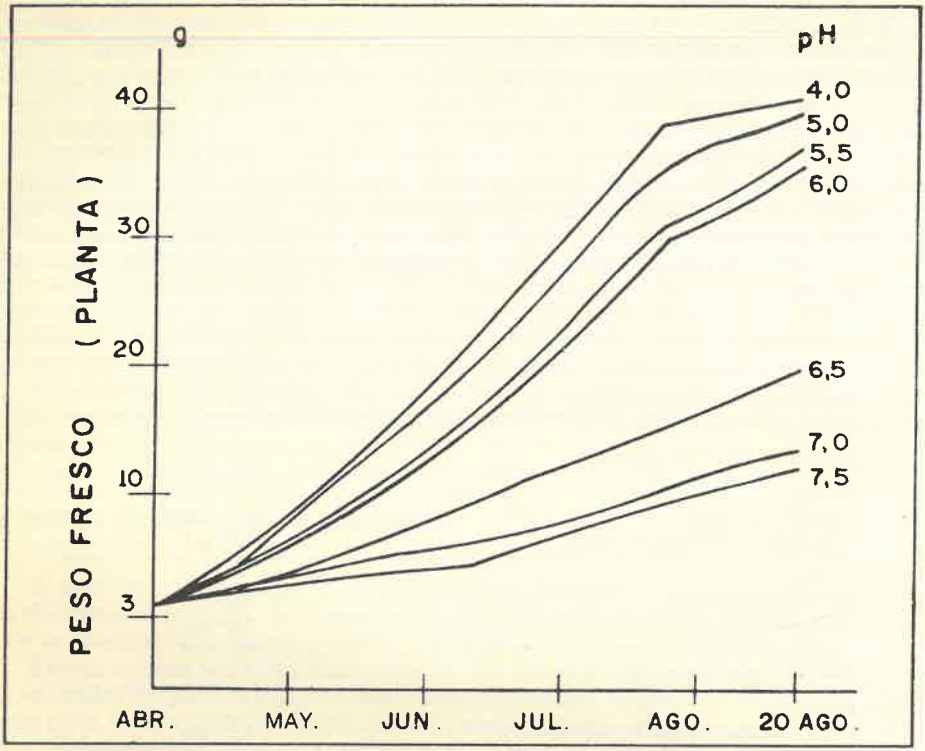


Fig. 8.2 *Crecimiento de cafetales durante seis meses en diferente pH* (**Amorim**, *1968*).

Cuadro 8.2 *Las leguminosas y sus excreciones radiculares* (**Wrigley**, *1969*)

Géneros y especies que producen ácidos (semillas peletizadas con carbonato de calcio)	*Géneros y especies que producen álcalis (semillas peletizadas con carbonato de calcio)*
Adesmia	*Acacia*
Astragalus	*Arachis* (maní)
Lathyrus (babosina)	*Cajanus* (guandú)
Lens (lenteja)	*Centrosema*
Lotus corniculatus	*Crotalaria* (ex. mata - pasto)
Medicago (ex. alfalfa)	*Desmodium* (pega-pega)
Melilotus (trébol dulce)	*Glycine* (soja)
Phaseolus vulgaris (poroto)	*Indigofera*
Pisum (arveja)	*Lotononis*
Trifolium (trébol)	*Lotus uliginosus*
Vicia	*Lupinus* (lupino)
	Phaseolus (var. nativas)
	Pueraria (ex. kudzú)
	Stizolobium (mucuna)
	Vigna
Exigen encalado. Necesitan pH casi neutro y suelos ricos.	Crecen bien en suelos ácidos, siendo apropiados para suelos tropicales.

Normalmente se consigue saber con rapidez si un cultivo o variedad acepta un pH bajo o más elevado a través de sus secreciones radiculares. Las plantas que prefieren suelos ácidos, o por lo menos consiguen desenvolverse allí, excretan sustancias alcalinas; mientras que las plantas que crecen en pH poco ácido o neutro, excretan ácidos, para poder movilizar nutrientes que en este pH son poco móviles. Las plantas más investigadas en este sentido son las leguminosas.

Pero no sólo hay plantas que crecen bien en suelos ácidos, existen igualmente algunas que se adaptan a suelos salinos. De ellas trataremos más adelante, bajo el título: Suelos salinos.

El pH es un indicador de una situación biológico-físico-química, y como tal sería engañoso considerar únicamente los efectos químicos.

Una planta que consigue crecer en suelo ácido o alcalino debe ser capaz de desarrollar su raíz en terreno compacto, superar el anaerobismo del suelo, movilizar nutrientes fijados, absorber agua contra altas tensiones y equilibrar excesos de iones metálicos que serían tóxicos. Así, por ejemplo, el arroz soporta 8 mg de manganeso por gramo de raíz, porque equilibra la toxicidad del manganeso a través de una absorción masiva de hierro, que por sí también es tóxico (120).

Un suelo excesivamente ácido o excesivamente alcalino siempre tiene una estructura mala, tiene menos oxígeno, menos materia orgánica, menor capacidad para retener agua, menor posibilidad de penetración de lluvias y raíces, menos microvida heterótrofa y más iones tóxicos (114). Sufrieron el mismo proceso de decadencia, sólo que el suelo ácido se formó bajo un régimen de abundante humedad, por lo menos en una época del año, mientras que el suelo alcalino por sodio se formó bajo un régimen de escasez de lluvias. Por eso los dos pueden ser corregidos mediante una aplicación de materia orgánica (179, 289) y encalado (217). Normalmente el pH ácido menor que 5,0 en suelo arcilloso, menor que 5,5 en suelo arenoso, y menor que 4,0 en suelo orgánico (294), o el pH alcalino mayor que 7,5 en suelos arcillosos y mayor que 7,0 en suelos arenosos, son sólo la expresión de un desarrollo anormal de estos suelos. Pueden presentar un tenor elevado de iones de hidrógeno (H^+) o de hidroxilos (OH^-), pero no necesariamente. Aparte de eso, la concentración de iones de hidrógeno en solución nutritiva hasta un pH 2,5, no perjudica a la planta (72). Sí son perjudiciales las condiciones que el suelo ofrece como Al tóxico, o falta de P, o anaerobiosis, etc.

Nadie puede sacar la conclusión de cuál es la concentración de cationes a partir de un determinado pH del suelo (14), ya que ésta depende esencialmente del complejo de cambio. Tampoco se puede saber algo sobre la absorción de nutrientes por la planta, conociéndose la cantidad de iones disponibles. El suelo puede ser aparentemente pobre, pero si tiene una buena bioestructura, o si la planta está adaptada al medio, podrá permitir la suficiente absorción de minerales. Por otro lado, el suelo puede ser rico debido a una fertilización abundante, pero ser anaerobio, y la planta no conseguirá asimilar los nutrientes.

El pH sólo posee algún valor práctico cuando se conoce la textura y la estructura del suelo.

Tanto el pH como la saturación en bases y la capacidad de cambio son influenciados por el uso del suelo. La capa superficial se distingue claramente de las capas subyacentes. Es la biosfera del suelo, que sufre la actividad humana y animal, que puede mejorar o empeorarlo.

En un pH de 5,5, el fósforo normalmente ya está disponible (89, 258). Tanto los científicos brasileños (89, 272) como los extranjeros (77, 137, 245) afirman que en muchos casos un pH mayor que 5,5 puede disminuir las cosechas debido a una inmovilidad de fósforo y micronutrientes. La absorción de los nutrientes varía según el pH y la especie vegetal, como muestra la figura 8-3.

Comprobamos que existen dos óptimos de absorción, el primero en un pH 5,5 y el segundo en un pH 7,2. Un pH 5,5 no impide la nutrición normal del tomate, pero le puede ser perjudicial la falta aguda de cationes frecuente en este pH, especialmente en suelos arenosos. El problema no es la corrección del pH, sino el abastecimiento equilibrado de

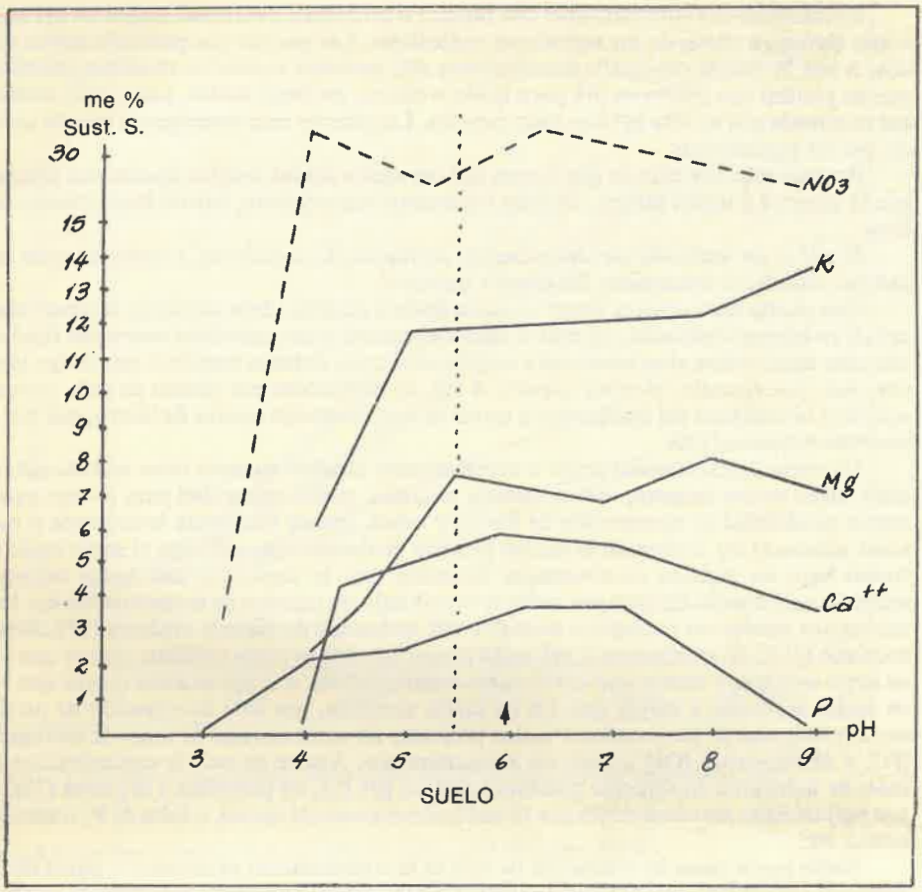


Fig. 8.3 *Absorción de nutrientes por una tomatera en diferentes niveles de pH.*

nutrientes. La dificultad de absorción de fósforo de los complejos de hierro y aluminio es similar a los de calcio. El aluminio intercambiable de ninguna manera es el único responsable por la fijación de fósforo en el suelo (275). El encalado puede igualmente fijar el fósforo por sobre ciertos valores de pH (272). Pero especialmente el hierro y el aluminio amorfo parecen ser los mayores responsables por la fijación de fósforo en suelos tropicales (215). En suelos irrigados de arroz el hierro es el principal agente fijador de fósforo, pasando el Al/P a Fe/P, constituyendo una transferencia irreversible (167), mientras se mantengan las condiciones submersas. Existen plantas que pueden absorber fósforo de complejos de hierro y aluminio, como el trigo sarraceno *(Fagopyrum esculentum)* y muchas leguminosas tropicales, como *Pueraria, Calopogonium* y otras).

En los trópicos y subtrópicos existen muchas plantas que:

1. acumulan aluminio, como algunas *Rubiáceas, Diapensiaceaes,* etc., que pueden tener un 3,5 % y más de Al en las hojas (95);
2. necesitan pequeñas cantidades de aluminio, como el maíz y el sorgo, el café y el té (95), el caucho, la papa (144) y muchas otras;

3. toleran mayores cantidades de aluminio, como diversas variedades de soja hasta un 2 me% (207), todas las variedades de trigo tropical, el "pasto-pangola", el algodón, la mandioca, etc.;
4. son sensibles a mayores cantidades de aluminio de cambio (sobre 0,5 me%), como trébol, cebada, tomate, etc.

El mismo valor de pH tampoco indica la misma cantidad de cationes de cambio, que depende de la CTC (arcilla y materia orgánica humificada) y del suelo (46). Así un pH de 6,1 en un suelo arenoso puede equivaler a un tenor insuficiente de bases para la mayoría de los cultivos, mientras que el mismo pH en suelo arcilloso indica que éste es rico. Por lo tanto, no existe correlación entre la cantidad de nutrientes disponibles y el pH, como se pensaba (22), ni entre el pH y la acidez nociva, que depende de cada unidad de suelo y de la adaptación de las plantas. El suelo que tiene poca arcilla generalmente no posee Al de cambio en grandes proporciones, y los suelos ácidos de los cerrados de Mato Grosso no tienen ningún Al intercambiable. El pH indica sólo el porcentaje de electrovalencias de la CTC ocupados por bases (Ca, Mg, K, Na).

Lo que más preocupó en los últimos tiempos fue el aluminio de cambio que aparecía en los suelos con pH ácido o muy alcalino, es decir, con pH por debajo de 5,5 o sobre 9,0 (258, 283), porque puede ser tóxico para las plantas cuando existe como catión dominante en el complejo de cambio, o cuando éstas son sensibles a su presencia, como el caso de la cebada.

Cuadro 8.3 *El aluminio intercambiable*

Solo	*País*	*pH*	*Al interc. em % de la CTC*	*Fuente*
Ultisoles y Oxisoles	Colombia	4,2 a 5,1	68,0	
Oxisoles	Brasil	5,5	0,0	
Oxisoles	Brasil	5,0 a 5,5	16,0	
Oxisoles	Brasil	4,2 a 5,0	58,0	**(Anastácio, 1968)**
Latosoles rojizo-amar.	Brasil	4,2 a 5,0	79,0	
Podzólicos	Brasil	4,2 a 5,0	63,0	**(Pratt, 1966)**

Obs.: excepción: Tierra Roxa legítima. (Fuente: **Sánchez**, 1972).

El suelo tiene tanto más aluminio cuanto mayor es el tenor en arcilla caolinítica, ya que el Al es parte integrante y predominante del arcillo-mineral 1:1. En suelos arcillosos con pH menor que 5,5, la causa más común de acidez es el aluminio intercambiable.

Mientras los cristales de arcilla están intactos, habrá poca posibilidad de que aparezca el aluminio de cambio. Pero cuando hay condiciones anaeróbicas en el suelo debido a su compactación, y el pH decrece o sube mucho, la arcilla decae liberando el aluminio (258). Esta decadencia de la arcilla se inicia generalmente a un pH entre 5,3 y 5,0, aumentando hasta un pH de 4,1; o en el medio alcalino sobre 9,0 (283) hasta pH 10,5.

En un pH más bajo, el aluminio generalmente se precipita, disminuyendo nuevamente su cantidad. Esa también es la razón por la que, a veces, se evita elevar el pH por sobre 4,0 en suelos orgánicos muy ácidos, a fin de no entrar en la faja donde el aluminio se vuelve intercambiable (258).

Actualmente se sabe que pequeñas cantidades de aluminio intercambiable, que pueden ser absorbidas por la raíz vegetal, benefician el crecimiento porque aumentan la absorción de fósforo (128, 250). Cantidades mayores perjudican porque causan plasmólisis en las cé-

lulas radiculares (172). En el suelo pueden precipitar el fósforo impidiendo así su absorción.

Una eliminación total del aluminio asimilable o intercambiable, por lo general baja el rendimiento, y no son perjudiciales cantidades hasta 0,5 me% (127), cuando el nivel de los otros cationes es suficiente (315).

Muchos autores hasta tienen la opinión de que la cantidad de aluminio de cambio no importa, debiéndose tener en cuenta sólo su proporción con el calcio, magnesio y potasio (144, 176, 177). Se calcula su proporción por la siguiente fórmula:

$$\frac{100 \times \text{Al interc. (me \%)}}{\text{bases interc.} + \text{Al interc. (me \%)}}$$

De modo que si en un suelo existe un 2,0 me% de Al de cambio y un 10 me% de calcio y potasio, el Al completa sólo el 16,6 % del total de bases, lo que ningún autor indica como perjudicial. Así, **Miranda** (1971) constató que el cacao crece bien cuando el aluminio de cambio está entre 5 y 32 % del total de las bases intercambiables, y sólo perjudica el 41 % de Al. **Patella** (1971) indica el 42 % como inicio del índice perjudicial y **Krüger** (1971), el 40 %. Sin embargo, en las plantas sensibles al aluminio, como la cebada, no se encontró correlación.

Para poder desarrollar su máxima actividad, el plasma celular de las raíces necesita de una hidratación equilibrada, que alcanza a través de los cationes absorbidos. Mientras los cationes como sodio y potasio hidratan (ver capítulo 1), calcio, magnesio y aluminio, deshidratan. Cada uno de estos iones, aisladamente, es tóxico (72, 172). El potasio o el calcio cuando es proporcionado como ion único, es tan tóxico para la célula vegetal como el aluminio. *Cada solución monosalínica es tóxica* (111). Sólo la mezcla con otros iones propicia un efecto benéfico. Lo mismo ocurre con el hierro, el manganeso y el aluminio. Sólo que la planta los soporta en cantidades mucho menores, y no puede utilizarlos en concentraciones idénticas a los de calcio o potasio.

No existe un *elemento* tóxico para la planta, existe sí una proporción que, cuando se estrecha demasiado, puede hacer que cualquier elemento sea tóxico. Y como en la mayoría de los suelos el nivel de los cationes intercambiables, entre otros, está ligado a la actividad biológica del suelo, y ésta depende de una oxigenación suficiente, la bioestructura es de suma importancia para garantizar proporciones adecuadas para el crecimiento vegetal.

En la figura 8-4, **Ranzani** muestra que tanto la suma de bases intercambiables, como la capacidad de cambio en la capa superficial de los suelos es idéntica o mayor que en las capas más profundas, lo que indica su dependencia de actividades biológicas.

Por otro lado, el pH generalmente aumenta, en los suelos examinados, con la profundidad del perfil, donde presumiblemente la cantidad de humus es menor y, por lo tanto, la CTC también.

Resumen

El aluminio intercambiable aparece en mayores cantidades en suelos cuyas condiciones generales se tornan desfavorables para la raíz vegetal. Su efecto tóxico depende de la proporción de los otros cationes y de la sensibilidad de la especie. Sin embargo los cultivos tropicales y subtropicales son generalmente bastante tolerantes al aluminio de cambio. Pequeñas cantidades de aluminio, que fueron limitadas a 0,5 me%, parecen ser inocuas, y en algunos casos hasta necesarias (128), y raramente son perjudiciales.

En parte el aluminio de cambio, pero especialmente los sesquióxidos de Fe y Al amorfos, son responsables por la fijación de fósforo soluble, en suelos tropicales. Normalmente la elevación del pH hasta 5,5 es suficiente para evitar efectos desfavorables de aluminio intercambiable (225). Se corrige la toxicidad del aluminio de cambio por medio del encalado. Esta corrección modifica el pH, la capacidad de cambio y la proporción aluminio/calcio.

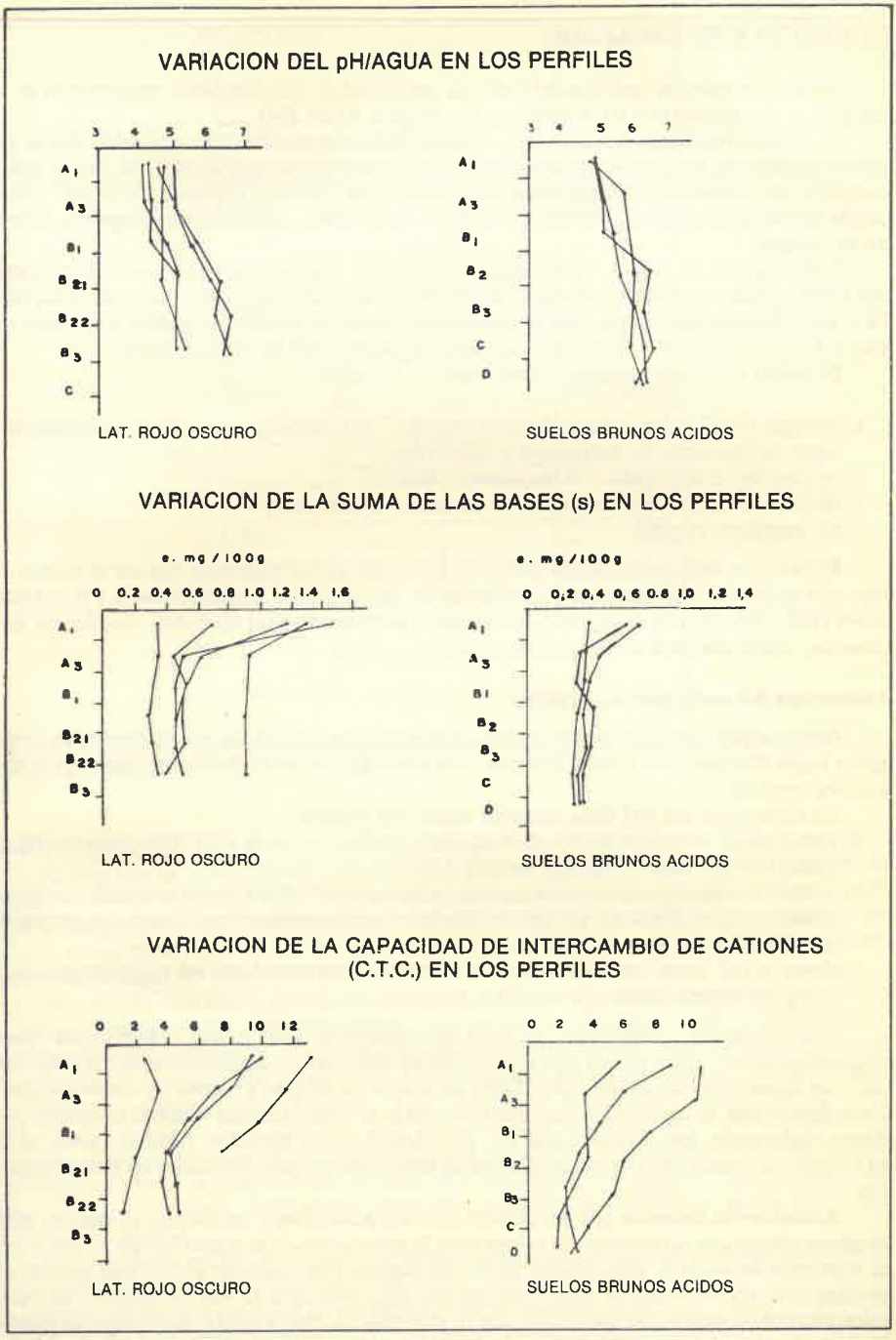


Fig. 8.4 *Variaciones de pH, de suma de bases (Ca, Mg, K, Na) y de Capacidad de Cambio en perfiles de varios suelos de São Paulo* (**Ranzani, 1971**).

EL CALCIO Y EL ENCALADO

Desde que existe la química del suelo, la necesidad de calcáreo (*lime requirement* en los EE.UU. y *Kalkbedürfnis* en Alemania) preocupa a todos (84).

El primer resultado del uso del calcáreo, indiscriminadamente aplicado, fue el empobrecimiento de los suelos agrícolas en lo referente a los otros cationes, de modo que se convirtió en proverbio: "El encalado hace ricos a los padres y pobres a los hijos". Pero, con la fertilización potásica y el uso de calcáreo dolomítico, que contiene magnesio, esto ya no es verdad.

Existe la idea de poder "enriquecer" el suelo de manera duradera con calcio, y para eso basta aplicar cantidades elevadas de calcáreo, variando entre 20 y 30 o más t/ha (48 a 72 t/alq). Desgraciadamente este enriquecimiento no es posible en suelos tropicales con una CTC entre 1,0 y 7,5 me%, por no tener la posibilidad de retener el Ca^+.

El calcio tiene básicamente 4 funciones en el suelo:

1. corregir el pH, o sea, ocupar lugares "vacíos" del complejo de cambio, entrando en el lugar de los iones de hidrógeno u oxhidrilos;
2. neutralizar el aluminio y el manganeso tóxicos;
3. flocular el suelo contribuyendo a una mejor agregación;
4. ser nutriente vegetal.

El calcio es deficiente en casi todos los suelos de zonas tropicales por ser el primer catión que se lixivia. No obstante, la lixiviación es proporcional a la del potasio y la del magnesio (228, 240, 285), y el encalado no siempre proporciona un aumento económico de la cosecha, como muestra la figura 8-5.

Corrección del suelo por el encalado

Como el pH 7,0 es un punto neutro, se pensaba que todos los suelos debían ser corregidos hasta alcanzar este punto. Era una idea absurda que perjudicó sobremanera a la agricultura tropical.

La corrección del pH debe apuntar hacia tres puntos:

a) aumentar el complejo de cambio, es decir, influir sobre la CTC dependiente del pH (102a), lo que ocurre a partir del pH 5,0;
b) saturar el complejo de cambio con calcio hasta un 40 % en suelos tropicales predominantemente caulinítícos, y hasta un 80 % en suelos predominantemente montmorilonítícos (258);
c) elevar el pH hasta un nivel en que el aluminio intercambiable no perjudique más, lo que generalmente ocurre a un pH 5,5.

El encalado de "corrección" es, pues, un método de crear lo que se denomina *"lastra de productividad"*. Eso indica que *la cantidad de calcáreo aplicado debe estar en conformidad con las características del suelo.* Debe ser mayor en arcillas y menor en suelos arenosos. Para determinar la cantidad de calcáreo necesario se desarrollaron muchos métodos, pero desgraciadamente los mejores son los más lentos. Los métodos rápidos como el del pH/SMP no fueron todavía calibrados satisfactoriamente para los suelos en zonas tropicales.

Actualmente sabemos que no existen cultivos acidófilos y calcícolas, ya que no existe ninguna planta que no necesite de calcio para la saturación de la superficie de su raíz y para el mantenimiento de la selectividad de su plasmalena (ver capítulo 2). Lo que existen son plantas que no soportan la modificación del pH, debido a la inmovilización de varios micronutrientes que le son esenciales, como manganeso, cinc y cobre, así como a la inmovilización de enzimas del suelo (ver capítulo 6). Por eso puede ocurrir que un encalado con calcáreo dolomítico no tenga efecto (130, 148) o tenga un efecto desfavorable, disminuyendo la producción (101). El efecto depresivo puede ocurrir aun en suelos ácidos, por dismi-

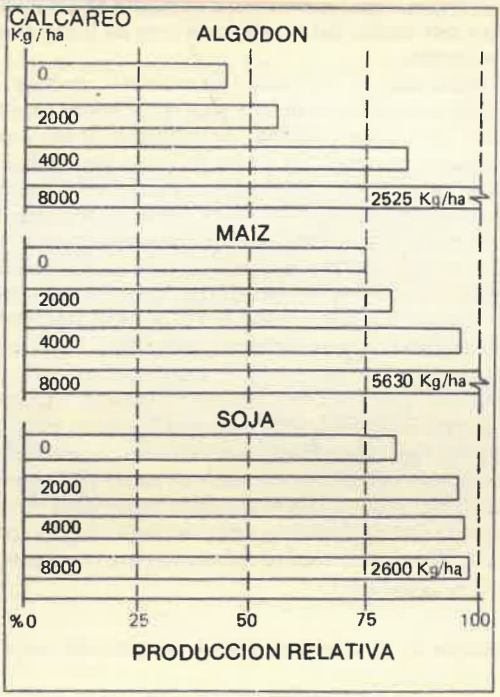


Fig. 8.5 *Efecto de cantidades crecientes de calcáreo sobre los cultivos de algodón, maíz y soja* (**Freitas & Kikkelsen,** *1971).*

nuir la absorción de boro, por ejemplo, por el algodón, o de manganeso y hierro por la soja, o de cinc por la "jabuticaba" o la *Hevea* (82). Sin embargo, si ocurre una depresión del rendimiento por el encalado, no es porque la planta no necesitara de calcio, sino por inducir a deficiencias de otros nutrientes cuya disponibilidad era precaria. Normalmente el sulfato de calcio (yeso) o el borato de calcio aumentan los rendimientos de cultivos sensibles a una modificación del pH.

Hoy se sabe que por la aplicación arbitraria de calcáreo, con el objetivo de neutralizar el suelo, ignorando todas las necesidades y conveniencias del mismo y de la planta, así como los equilibrios minerales, el encalado no es una técnica sino un juego de azar, que puede dar resultados maravillosos o negativos. Gran cantidad de autores indican el efecto desfavorable de un encalado "neutralizante" (187, 247, 272), causado por desequilibrios con K, Mn, Zn, Cu y B (101, 133). Por otro lado existen ejemplos donde 20 t/ha de calcáreo en el cerrado, dieron efectos momentáneos altamente satisfactorios. Aunque la movilización de los otros cationes y la modificación radical de la microvida y de todo el "potencial enzimático" del suelo acarrean, después del tercer año, una seria decadencia del suelo, que es muy difícil de recuperar.

Por otro lado, un pH elevado no siempre indica gran cantidad de cationes disponibles, ya que *mide únicamente la saturación de la CTC con cationes.* Y, si la CTC es muy reducida, una insignificante cantidad de elementos nutritivos ya es capaz de producir un pH entre 5,8 y 6,6. Así las plantas pueden "pasar hambre" en un suelo con pH 6,5. Por lo tanto la elevación de pH del suelo todavía no garantiza una concentración elevada de cationes y, en especial en suelos arenosos, esto puede llevar a engaño.

En Rio Grande do Sul se dice: "el efecto del encalado aparece en la fertilización posterior". Quiere decir que por medio del encalado se crea un lastre adecuado para la saturación con los otros nutrientes.

Todo agricultor sueña con un "encalado de reserva", es decir, con la posibilidad de aplicar grandes cantidades de calcáreo de una sola vez y poder usufructuar sus efectos benéficos durante muchos años. Esta "reserva" es imposible de ser desarrollada en suelos cálidos con CTC tan reducida, y aun en los suelos de clima templado con una CTC muy elevada, nadie consigue la "formación" de este lastre de fertilidad con un único encalado, sino más bien con encalados pequeños y frecuentes. La única manera de conseguir una reserva de calcio en el suelo es usando un calcáreo de una granulometría gruesa, que es de disolución lenta. Si la cantidad de calcáreo es grande y la granulometría fina, no sólo es capaz de perjudicar la cosecha debido a la inmovilización de micronutrientes, sino también tornan los cultivos más susceptibles a la sequía, por aumentar mucho la concentración de la solución del suelo, dificultando la absorción de agua (280). También las pérdidas por lixiviación aumentan a medida que aumenta la cantidad aplicada (88, 180). Lo que se comprende fácilmente, ya que el exceso de calcio que no puede ser absorbido por el complejo de cambio es lixiviado. ¡El ácido carbónico formado en la descomposición de $CaCO_3$ es uno de los mayores agentes de lixiviación! Por eso, en los suelos alcalinos por sodio, como ocurre en el nordeste brasileño, un encalado es capaz de bajar el pH, y hasta remover la deficiencia de manganeso (67). Se usa el encalado tanto para elevar el pH del suelo, como para bajarlo, ya que el $CaCO_3$ funciona como tampón *(buffer)* poderoso, pudiendo actuar en los dos sentidos. El valor correctivo del calcio para los suelos ácidos no es privativo del Ca, como muestra el cuadro 8-4.

Cuadro 8.4 *Valor correctivo de algunas sustancias en comparación con el óxido de calcio (CaO)* **(Sluijsmans,** *1970)*

1 kg de K_2O equivale a 0,6 kg de CaO.
1 kg de MgO equivale a 1,4 kg de CaO.
1 kg de Na_2O equivale a 0,9 kg de CaO.

A pesar de que el magnesio tiene un efecto correctivo mayor que el calcio, no se puede comparar su acción en el suelo, donde se procura tanto la elevación de pH como el elemento calcio. Así, por ejemplo, en un ensayo del IPEAS, 1 kg de $CaCO_3$ usado en la peletización de 60 kg de semilla de soja, tuvo el mismo efecto sobre la nodulación que 7,2 t/ha de calcáreo aplicados "al voleo" en este suelo (138).

La corrección del pH normalmente es satisfactoria después de la eliminación del Al tóxico, lo que tiene lugar con la elevación del pH a 5,5. Para cultivos más sensibles a la acidez la elevación del pH debe ser hasta 6,1 (76, 130). Pero muchas veces la simple elevación del pH y la eliminación del Al y Mn tóxicos no es suficiente. Lo que puede faltar es una cantidad suficiente de calcio como nutriente.

El calcio como nutriente

En muchos suelos tropicales el mayor problema es el del calcio como nutriente. Muchas plantas tropicales están adaptadas a la vida en suelos ácidos y también con aluminio intercambiable. Las variedades brasileñas de trigo, y parte de las de soja toleran bien hasta un 2,0 me% de Al intercambiable. El problema máximo que se presenta es, por lo tanto, proporcionar el nutriente calcio, indispensable para la nutrición vegetal y el equilibrio mineral.

La absorción de calcio depende de la temperatura, siendo mejor cuando ésta es elevada (12). Las plantas al sol necesitan más del calcio que las de la sombra, y las de climas secos tienen mayores tenores en Ca en sus hojas que las de climas húmedos (172, 177). Tanto

el rendimiento como la semilla se resienten por la falta de calcio como nutriente, según se muestra en las figuras 8-6 y 8-7.

El efecto del nutriente calcio depende íntimamente del equilibrio con los demás cationes, en especial K, Mg, Zn, Mn, Cu, B y Fe. La primera deficiencia mineral verificada fue justamente la del hierro inducida por un encalado de los campos de ananá en Hawaii

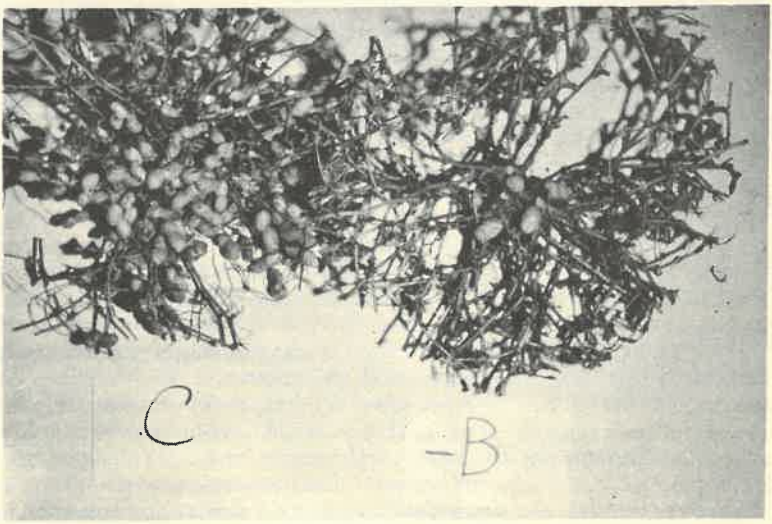


Fig. 8.6 *Deficiencia de calcio en el maní. C: con calcio y formación abundante de vainas. B: sin calcio con pocas vainas.*

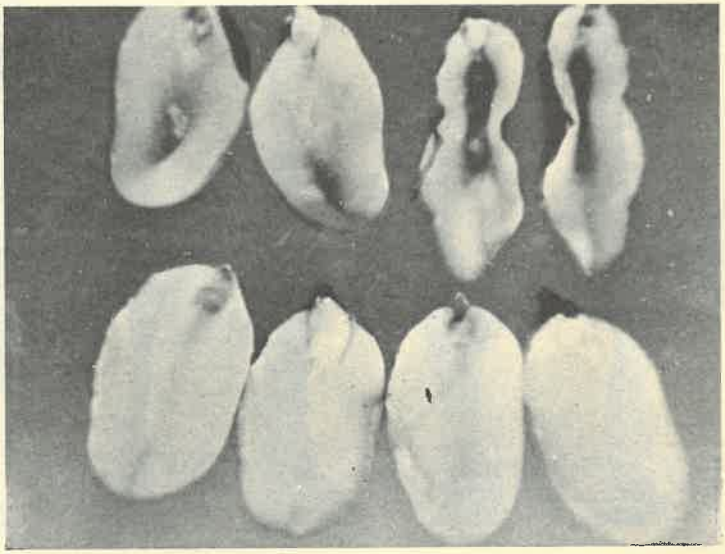


Fig. 8.7 *Deficiencia de calcio en el maní. En la fila superior, semillas deformadas y caverna necrótica. Abajo, semillas normales (gentileza de* **H. C. Harris,** *1973).*

(lime induced clorosis). Pero el desequilibrio con el boro, causado por un encalado, perjudica las semillas tanto como la falta de calcio (figura 8-7). La proporción Ca/Mn, Ca/K y Ca/B es característica para cada suelo (240) y cada planta (296), y no puede ser alterada.

Existen autores que dan la proporción de Ca/K en el suelo como un mínimo de 6 (600 mg de Ca^{++} contra 100 mg de K^{+}, por kg de tierra) (129), mientras otros la aseguran como 10 o hasta mayor (258), lo que ocurre en suelos salinos. Una proporción de 40 es el límite de los tolerable en suelos salinos con 10.000 mg de Ca^{++} y 250 mg de K^{+} por kilogramo de tierra. Por encima de 10.000 ppm de Ca^{++} se detiene el crecimiento de la mayoría de las plantas (258).

Se exige igualmente que el encalado no precipite el fósforo en la solución del suelo. El fosfato tricálcico es tan poco soluble como el férrico o el alumínico.

En pasturas sobre suelos arenosos el pH puede ser 6,5, pero el calcio permanece allí tan bajo (menos de 30 ppm) que no hay gramínea que pueda crecer, y la proliferación de ciperáceas acontece como consecuencia de la falta de calcio, aunque no haya acidez.

Para pasturas utilizadas para cría, se debe exigir un mínimo de 600 ppm de Ca; para la agricultura, un lastre de 800 ppm, es decir, 4 me% de Ca es lo necesario para poder producir buenas cosechas, que no son posibles sin un efecto adecuado del potasio. ¡Aquí no se trata de la eliminación de alguna toxicidad, sino del equilibrio de los nutrientes!

El manganeso tóxico se elimina tanto por un encalado pesado como por un encalado moderado (1 a 2,5 t/ha), junto con una fertilización orgánica (63, 217). Pero no siempre se trata de eliminar la toxicidad, sino de abastecer con calcio.

La aplicación de calcio en cultivos acidófilos como el árbol del caucho, té, jabuticaba, etc., sólo puede ser hecha cuando se usa sulfato de calcio (yeso) o cuando se aplica al mismo tiempo el micronutriente que esta especie más necesita, como por ejemplo, manganeso para el té, cinc para las jabuticabas, manganeso y cinc para el caucho. No se trata de corregir el pH, sino de suministrar el nutriente calcio que está deficiente. La absorción más difícil de los micronutrientes, después de un encalado, debe ser compensada (101, 236).

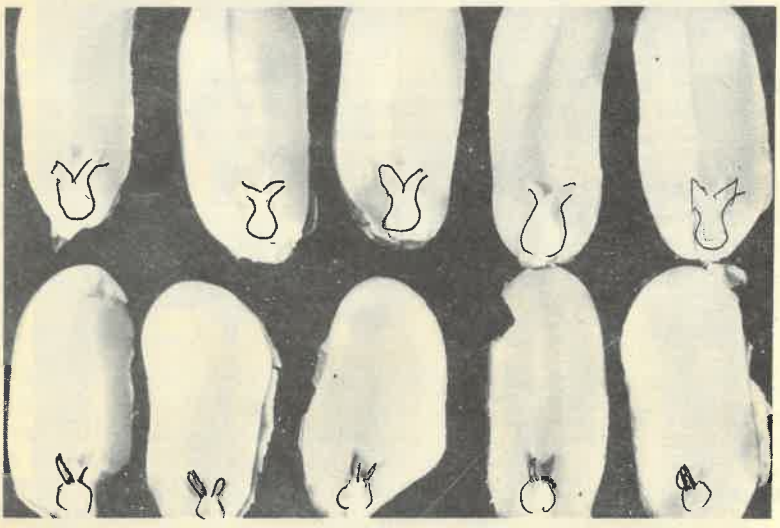


Fig. 8.8 *Deficiencia de boro en el maní. En la fila superior, semillas sanas; en la fila inferior, con el epitelio germinativo necrosado. Las semillas no nacen (gentileza* **H.C. Harris,** *1973).*

El encalado en sí mismo tiene efecto directo cuando falta el elemento calcio para la nutrición vegetal o cuando eliminó la toxicidad de algún otro elemento. No tiene efecto directo cuando se lo necesita como "lastre de fertilidad", es decir, cuando debe establecer un equilibrio con los demás nutrientes. En este caso, el efecto aparece únicamente después de la siguiente fertilización.

Es desaconsejable utilizar cantidades de calcio mayores del que es indispensable para la saturación (40 %) de la CTC, o para elevar el nivel de Ca al mínimo exigido. Un encalado de 20 a 30 t/ha puede traer efectos maravillosos en suelos arcillosos, en los primeros dos años. Pero la "resaca" viene irremediablemente, en especial debido a la destrucción de la bioestructura y la formación de humus ácido (ver capítulo 6), que es un poderoso agente de lixiviación (ver capítulo 4).

El calcio, como elemento de equilibrio, aumenta la absorción de nitrógeno nítrico (175) y de potasio (129), y beneficia la absorción de magnesio, sodio y manganeso. Es un error creer que un pH elevado dispensa su aplicación. Especialmente en el arroz irrigado, donde el pH del suelo sube con la inundación, el encalado muchas veces no es utilizado. Sin embargo, las cosechas altas de 350 a 420 bolsas por cuadra de arroz (10 a 12 t/ha) sólo tiene lugar en suelos con niveles elevados de calcio y magnesio (129). Aun con cantidades elevadas de NPK, el arroz irrigado no proporciona altos rendimientos sin que haya un lastre suficiente de calcio y magnesio (figura 8-9).

Ninguna planta dispensa el equilibrio entre aniones y cationes y, por lo tanto, *no produce en función del pH, sino en función de los nutrientes disponibles.* Por eso Ca y Mg son indispensables para una elevada producción, aun para el arroz irrigado.

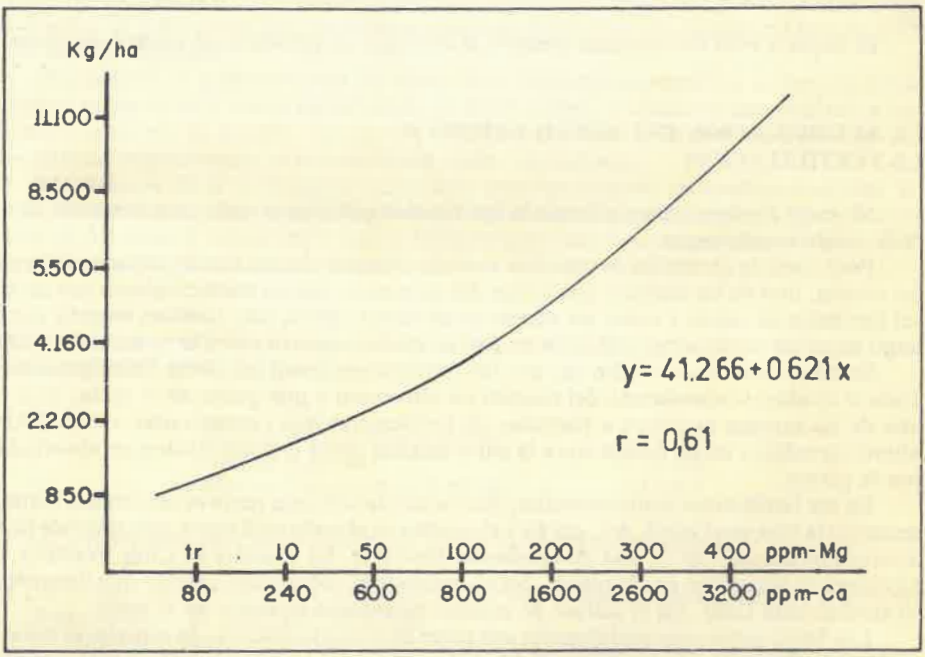


Fig. 8.9 *Rendimiento del arroz irrigado en relación a los tenores en calcio y magnesio en el suelo.* (**Primavesi**, *1972*).

El encalado como medida de agregación del suelo

Uno de los efectos más apreciados del encalado es su acción agregante sobre el suelo de las zonas templadas. Toda literatura americana y europea sobre el tema lo cita. Pero para que este efecto se realice es necesario que no existan otros cationes polivalentes en el suelo.

En las arcillas montmoriloníticas, el calcio y el magnesio generalmente son los únicos cationes polivalentes y, por ello, su deficiencia equivale a la dispersión, o sea, a la desagregación del suelo.

En los suelos tropicales, donde generalmente hay una elevada cantidad de hierro y aluminio en estado oxidado, que son floculantes muy eficaces, el efecto del calcio como agregante es insignificante, como tampoco es fuerte el efecto del sodio como desagregante (ver capítulo 3). Solamente en grumosuelos y suelos de valles donde se acumulan las arcillas montmoriloníticas, el calcio es necesario para la floculación y la formación de la estructura grumosa.

Consumo y lixiviación del calcio

El calcio del suelo es consumido por la vegetación, lixiviado por las lluvias o precipitado en formas insolubles, de modo que ocurre la "acidificación" de los suelos que recibieron un encalado (256). Sin embargo, normalmente nunca vuelve a ser tan ácido como era antes de un encalado. Después de 4 o 5 años, el encalado debe ser repetido, aun cuando haya sido aplicada una cantidad muy elevada. Pero su efecto sobre la producción ya no depende más del encalado, sino de la bioestructura del suelo.

La aplicación de cantidades más moderadas y frecuentes es lo más correcto. En presencia de cloruros la lixiviación del calcio es mayor, por ligarse a $CaCl_2$, que es una sal muy hidrosoluble (7). En suelos salinos el cloro es utilizado para la eliminación del exceso de calcio.

El mejor efecto del encalado siempre se consigue en presencia de materia orgánica.

LA ACIDIFICACION DEL SUELO DEBIDO A LA FERTILIZACION

No es un misterio para nadie que la fertilización acidifica el suelo, por lo menos, la de NPK usada comúnmente.

Pero como la obtención de cosechas elevadas depende de una fertilización, muchas veces masiva, uno de los mayores problemas del agro no es sólo su mantenimiento con un nivel razonable de calcio y evitar un exceso de aluminio tóxico, sino también impedir que a largo plazo los fertilizantes aplicados tengan un efecto negativo sobre la producción (132).

Se sabe, desde hace mucho ya, que los fertilizantes tienen un efecto fisiológicamente ácido o alcalino, dependiendo del residuo no absorbido y que queda en el suelo. Esta es una de las razones que lleva a fórmulas de fertilización más concentradas, como DAP, nitrato de calcio y otras, donde tanto la parte alcalina como la ácida pueden ser absorbidas por la planta.

En los fertilizantes convencionales, generalmente sólo una parte es absorbida, permaneciendo la otra en el suelo. Así, del KCl el residuo en el suelo es el cloro, que se puede ligar al calcio formando $CaCl_2$, una sal fácilmente lixiviable. En el salitre de Chile ($NaNO_3$), el nitrógeno es absorbido por la planta, permaneciendo el sodio como residuo que tiene efecto alcalinizante (259). En el sulfato de amonio permanece el azufre en el suelo.

Los fertilizantes más acidificantes son parte de los nitrogenados, en especial el sulfato de amonio ($SO_4(NH_4)_2$). También el NH_2 de la urea se transforma en NH_4, y más tarde en NO_3, aunque el proceso es más lento (61).

La reducción del pH es más drástica cuando se usa una fórmula de NPK. Por ejemplo,

después del uso repetido de 700 kg/ha de la fórmula 5-20-20, para el maíz, se necesitaba 5,9 t/ha más de calcáreo para mantener el pH del que se necesitaba para el testigo (23).

Esta acidificación sucede en parte por la acidificación directa por ácidos formados, en parte por la mayor lixiviación y en parte por la mayor absorción de las plantas y la excreción de ácidos por las raíces al suelo (149), y no por la movilización de aluminio y manganeso intercambiables (78).

Cada acidificación significa igualmente una deteriorización de las condiciones generales del suelo. Sin embargo no deberemos desistir de la fertilización necesaria, pero tendremos que dar más atención al mantenimiento del pH adecuado, a la reposición de la materia orgánica y al equilibrio de los demás nutrientes adicionados, como Ca, Mg y todos los micronutrientes (88).

La fertilización comercial con NPK no puede ser medida aisladamente, pues es uno de los factores de un gran complejo que denominamos fertilización. Quien usa NPK forzosamente deberá usar también un encalado, la fertilización orgánica y la adición esporádica de micronutrientes, según la unidad del suelo y la variedad de cultivo plantada.

Como comprobamos en una prueba en Paraná, el uso del sulfato de amonio bajó el pH por la movilización del aluminio intercambiable que en este caso aumentó de 6,7 a 8,1 me% (209). El sulfato de amonio, por lo general, aumenta el manganeso tóxico en el suelo y lo empobrece en calcio, magnesio y potasio (14, 16), pudiendo reducir la cosecha (50, 79).

Este efecto desfavorable del sulfato de amonio no ocurre con el nitrógeno orgánico, aplicado en forma de abono verde, eliminando el manganeso tóxico (63).

Por el agregado de fertilizantes la materia orgánica es más rápidamente mineralizada y el suelo pierde su bioestructura (96), compactándose y teniendo una producción insatisfactoria.

La pérdida de la bioestructura es, además, acelerada por las técnicas de cultivo y la presión de las máquinas. Generalmente son suficientes cuatro años de cultivo para compactar el suelo, lo que reduce drásticamente el efecto de la fertilización cuando no hay retorno de la materia orgánica.

El problema de la disminución del efecto de la fertilización comercial no desaparecerá mientras se use el NPK como factor único de fertilización, olvidándose del encalado y los abonos orgánicos. Es posible "construir" una productividad y fertilidad mayores de las que existían originalmente, si consideramos todos los factores.

Necesitamos de la fertilización comercial, pero igualmente precisamos mantener la productividad de nuestros suelos. Tal vez sea algo más caro en el momento, pero con el correr de los años se comprobará que es infinitamente más barato que destruir el suelo y después tener que recuperarlo.

Cuadro 8.5 *Efecto acidificante de algunos fertilizantes nitrogenados en un suelo de pH 5,7 y 3,4 % de materia orgánica (***Lotero***, 1970)*

sulfato de amonio baja el pH de	5,7 a 3,9
urea baja el pH de	5,7 a 4,8
salitre de Chile aumenta el pH de	5,7 a 6,8

La fertilización debe estar regida por tres principios fundamentales:

1. No se debe usar fertilización comercial sin previo encalado, cuando el pH ya está en el límite inferior, es decir, pH 5,0 a 5,3;
2. Mantener el suelo con la bioestructura intacta y la cantidad adecuada de materia orgánica, a fin de posibilitar:
   a) el mejor aprovechamiento del fertilizante por la raíz (suelo mejor agregado y con sustancias de crecimiento);

b) aumentar el poder tampón o "buffer" del suelo, para evitar la mudanza brusca del pH y la aparición de Al y Mn tóxicos;

3. En los cultivos anuales, usar la rotación para el mejor aprovechamiento de los residuos de fertilizante. Por ejemplo, la soja puede utilizar el azufre del sulfato de amonio que el algodón dejó como residuo, aunque soja-algodón no sea una rotación aconsejable.
4. En los cultivos perennes, utilizar diferentes "cultivos protectores".

Quien no observa estas reglas, más tarde o más temprano tendrá la amarga experiencia de que el uso de NPK destruyó la productividad de su suelo. En lugar de tornarse más rico, se volvió más ácido, más compacto y más pobre. Donde existen labranzas intensivas, especialmente en la olericultura, el menor efecto del fertilizante después de algunos años de uso, es compensado por la aplicación de mayores cantidades del mismo hasta no sólo perder todo el lucro, sino también toda la recompensa del trabajo del agricultor. De estos suelos se lixivian tales cantidades que contaminan los riachos, ríos y lagos, cuyas aguas se tornan viscosas por la cantidad de algas que aparecen (281), lo que resulta un serio problema en EE.UU. y Europa, donde la agricultura se volvió la mayor contaminante de los recursos hídricos. La tierra tiene que ser abandonada, como en muchos "creeks" de los EE.UU.

No vale pensar: "Estamos en la primera etapa de la fertilización, las medidas de conservación del suelo vendrán más tarde".

El agricultor mal acostumbrado es mucho más difícil de re-educar que aquel al que hay que comenzar a educarlo desde el principio.

El suelo, una vez destruido, es más difícil de recuperar que la conservación de su productividad. Generalmente faltarán recursos para su recuperación, ya que los años, cada vez más, fueron consumiendo las reservas de recursos y las bases de un crédito. *Tan necesario como una fertilización es su uso correcto dentro de los principios de conservación.*

LA ABSORCION DE LOS NUTRIENTES

Para que una planta pueda absorber los nutrientes:

1. antes que nada, deben existir en el suelo en forma asimilable. No sirve un pH adecuado ni la ausencia de Al o Mn o Fe intercambiables, si los minerales nutritivos no existen;
2. deben poder ser alcanzados por la raíz. Si el suelo está compactado e impenetrable para la raíz, de nada sirve que los elementos existan en el mismo. La raíz debe tener la posibilidad de aproximarse a ellos;
3. deben estar disueltos en agua; sin agua no existe absorción;
4. la velocidad de difusión, es decir, del movimiento que los elementos hacen en dirección a la raíz, y de la cual también dependen, debe ser considerada (99). Este movimiento es causado por la mayor concentración de iones cerca de la raíz, que los asimila, tanto como por las electrovalencias negativas de la raíz y su saturación con calcio, que los atraen. Pero para que haya difusión se necesita agua. En suelos secos se detiene la difusión de los nutrientes y la raíz siente la falta de nitrógeno, potasio, cinc, manganeso y boro (236). Por eso el nitrógeno es el primer nutriente que falta después de un período de sequía, mientras que el cinc es la "deficiencia clásica" de los países tropicales. Cuando llueve, las deficiencias desaparecen nuevamente. Pero para que haya difusión, los elementos deben estar solubilizados en agua. El elemento precipitado no se mueve (172). Por eso, **Van der Paauw** (1959) encontró que para suelos con arcillas montmoriloníticas el tenor de los elementos solubles en el agua tiene mucha más importancia para la nutrición vegetal que el tenor de los elementos intercambiables. Esto sucede porque el tenor de los elementos intercambiables actúa según principios arbitrarios y puede utilizar elementos de la red cristalina que no son ni solubles ni de cambio en las condiciones que el suelo ofrece;

5. la planta debe fotosintetizar lo más posible para poder mantener su raíz vigorosa y fuerte. Para la fotosíntesis no es suficiente tener luz y agua, que podría ser suministrada mediante irrigación. Se necesita, ante todo, gas carbónico. Este es llevado por el viento, no por vientos fuertes, sino más bien por brisas constantes, que pueden ser interceptadas fácilmente por corta-vientos. Esa es la razón por la que varios cultivos reaccionan favorablemente a un espaciamiento menor y casi todos se benefician con los corta-vientos.

Absorción y producción

La absorción de nutrientes siempre está correlacionada con la producción. Una planta puede ser muy rica en elementos nutritivos y producir muy poco. El análisis foliar no puede dar información sobre la producción del cultivo mientras no se considere:

1. las proporciones entre los elementos. Por ejemplo, si hay un nivel alto de fósforo y poco cinc, la planta no se desarrolla y casi no produce. Pero también puede ser que las proporciones sean buenas y los niveles inadecuados. Por ello se necesita saber el índice de crecimiento, indicando la amplitud del efecto de dilución;
2. un nivel bajo de elementos en una planta de crecimiento rápido muchas veces es lo suficiente, porque presenta el "efecto de dilución" (55, 56, 172, 231). La planta que crece "diluye" los nutrientes para toda el área en crecimiento, mientras que una planta con crecimiento estancado "acumula" los nutrientes en un área pequeña (284). Por eso **Hernando** (1973) introduce el análisis de la savia vegetal, verificando la cantidad de los nutrientes en circulación, y el peso total de la planta en relación a su edad fisiológica. Un tenor medio de nitrógeno en la savia vegetal bien desarrollado significa un buen abastecimiento de nitrógeno. Pero mucho nitrógeno en la savia de una planta mal desarrollada significa un impedimento de metabolización. **Primavesi** (1973) propone la comparación del nitrógeno en circulación con el nitrógeno total de la planta que incluye el metabolizado, para calcular el "índice de crecimiento". Para poder metabolizar la planta necesita:

   a) que todos los factores de metabolización estén en el punto óptimo, incluyendo agua, oxígeno en el suelo, transpiración, gas carbónico en el aire y una fotosíntesis activa con respiración moderada, permitiendo un saldo adecuado de productos fotosintetizados (ver capítulo 1). *Un nivel medio o alto de nutrientes en la hoja, por lo tanto, difícilmente puede dar una información exacta sobre la producción mientras el índice de crecimiento y la proporción de los nutrientes no son conocidos;*
   b) absorber elementos según:
      — su concentración en el suelo,
      — la concentración de los otros elementos nutritivos en el suelo (equilibrio) (ver figura 8-10),
      — la edad fisiológica de la planta,
      — la insolación o sombreado.

Niveles muy altos de nutrientes en el tejido vegetal frecuentemente indican un impedimento para crecer o un ataque hecho por hongos, insectos o nematodes. Por lo tanto, no pueden ser tomados como señal infalible de una óptima nutrición, indicando una buena producción.

El nitrógeno tiene un efecto diferente sobre la absorción de bases, según sea su forma de anión (NO_3^- o catión (NH_4+), como muestra la figura 8-10.

Comprobamos que con el aumento de N-NH_4 disminuyen en el tejido vegetal los tenores de K, Ca y Mg. Pero por otro lado se sabe que dosis mayores de nitrógeno exigen proporciones más próximas con el potasio y el fósforo (92). Lo que importa no es la cantidad

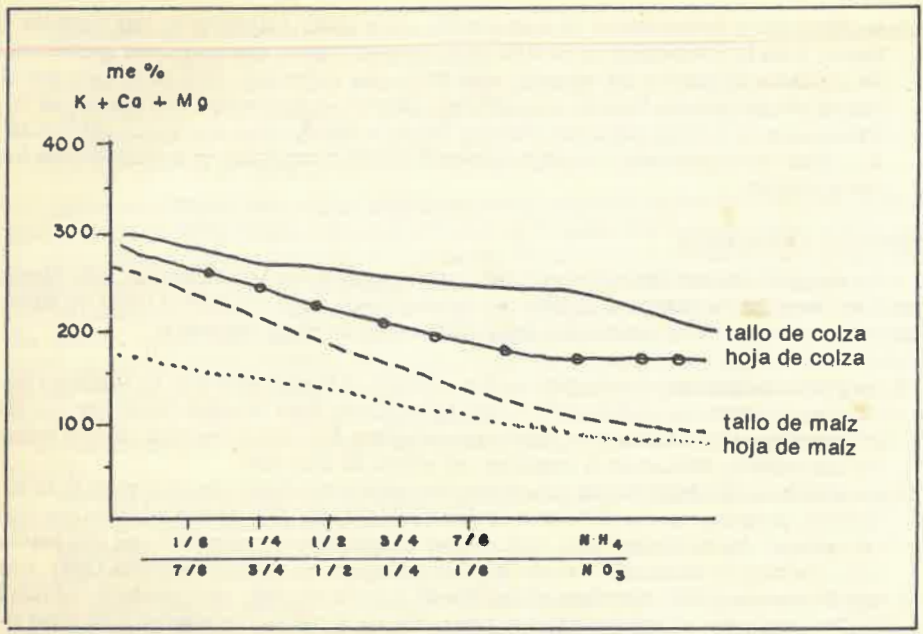


Fig. 8.10 *Efecto del amonio sobre la concentración de los otros cationes en la hoja y tronco (tallo) del maíz y de colza (***Welte,** *1962).*

de un elemento, sino su proporción con los demás, inclusive con los que se encuentran en el suelo y que no fueron adicionados (36, 68).

PROPORCIONES ENTRE LOS NUTRIENTES EN LA PLANTA

Hace más de cien años que se conoce el hecho de que el uso de nutrientes por la planta depende de la presencia de los otros nutrientes. La famosa "ley del mínimo" de **Liebig** (1885) fue la primera tentativa para llamar la atención al hecho de que cuando un elemento falta los otros no podrán actuar normalmente.

Desde que se investigan los síntomas de las deficiencias minerales en los vegetales (16a, 157, 236, 270, 297), es sabido que una deficiencia puede ser inducida por el exceso de otro elemento (34). Y si un elemento está en condiciones de inducir a la deficiencia de otro, debe haber un desequilibrio grave, o tal vez la toxicidad del elemento en exceso.

La necesidad de equilibrio entre los macro y micronutrientes se basa en la circunstancia de que los últimos actúan como "activadores" de enzimas indispensables en los procesos de metabolismo vegetal, es decir en la síntesis, transformación y eliminación de sustancias. De modo que el efecto de los macronutrientes está ligado íntimamente al de los micronutrientes. Si existen muchos micronutrientes y pocos macronutrientes, las plantas no se desarrollan, de la misma forma que si existen muchos macronutrientes y pocos micronutrientes, tampoco se desarrollan normalmente. Cada exceso de un nutriente equivale a la deficiencia de otro con el que mantiene un equilibrio (cuadro 8-5), como por ejemplo N/Cu, P/Zn, Ca/Mn y otros. Igualmente existen equilibrios entre los macronutrientes, como entre N/P/K o entre Ca/Mg/K o entre P/S, que depende de su función en el metabolismo vegetal.

Y finalmente existen equilibrios entre los micronutrientes según su necesidad de pre-

sencia en el proceso catalizado por otro, como por ejemplo: Cu/Mo, Cu/Mn/Zn, Co/Fe y otros.

Primavesi reunió estas interrelaciones en 4 compuestos principales: el del fósforo, el del potasio, el del nitrógeno y el de N-P-K, como está representado en la figura 8-11. Pero además hay interrelaciones entre los elementos de los diversos compuestos, creándose una trama complicada, de la que resalta la necesidad de un poder tampón elevado del suelo, para evitar desequilibrios desencadenados por la fertilización.

Todos conocen los campos de maíz no fertilizados, con plantas pequeñas pero sanas. Después de una fertilización con NPK, el maíz se vuelve más grande, pero es más fácilmente atacado por plagas, por haber sido aumentados sólo los niveles de NPK, permaneciendo bajos los de los otros nutrientes. El equilibrio original, aunque insuficiente, fue quebrado.

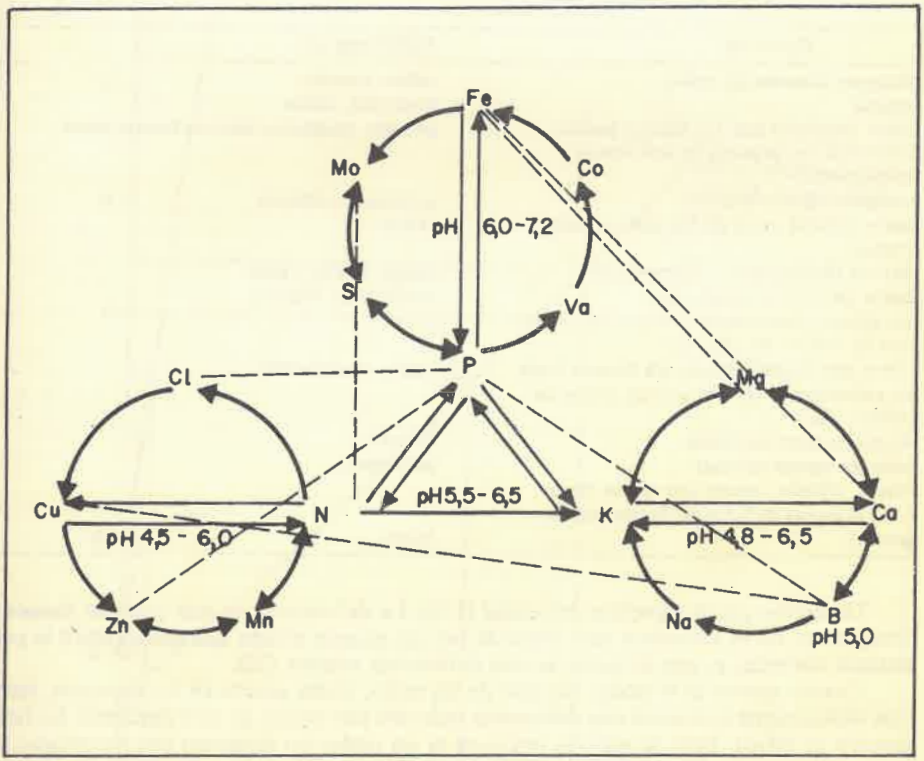


Fig. 8.11 *Equilibrio de los nutrientes dependiendo de sus proporciones específicas (***Primavesi,** *1965).*

En todos los equilibrios, que son característicos para cada especie, no importa la cantidad del nutriente en sí, sino su proporción con sus antagonistas. *Se pueden elevar los niveles de las proporciones, pero no se puede elevar uno u otro componente de una proporción, destruyéndola.* Se obtiene la proporción de dos nutrientes dividiendo el nutriente que existe en cantidad mayor por el que existe en menor cantidad, representándose sólo el cociente. Una proporción de 10 entre K/Ca en la hoja de arroz significa 10 veces más potasio que calcio. O, mientras el nitrógeno en el suelo debe estar alrededor de 800 a 1.200 mg/kg, del cobre bastan 1,5 a 3,5 mg/kg, dando una proporción de 533,3 a 342,8 (305). Pero si esta

cantidad mínima de Cu no existe, la síntesis de proteínas será deficiente, permaneciendo en forma de aminoácidos. El crecimiento de la planta será exuberante pero enfermizo y la producción de las semillas será muy reducida o nula. Para que haya un exceso de nitrógeno, no es preciso que exista una cantidad elevada de este elemento, basta con que haya una cantidad insuficiente de cobre (231).

La proporción entre los elementos nutritivos es característica a cada especie vegetal y permanece idéntica dentro de las variedades. Lo que puede oscilar es el nivel de los elementos (255).

La deficiencia de un elemento provoca el exceso o toxicidad de otro (33), y consecuentemente, el exceso de uno produce la deficiencia de otro.

Cuadro 8.6 *Deficiencia inducida por el exceso de otro nutriente (***Bussler,** *1970)*

Exceso de	*Deficiencia de*
nitrógeno amoniacal, sodio	calcio, potasio
potasio	magnesio, calcio
calcio (encalado con Ca $(OH)_2$) (calcio dolomítico no provoca la deficiencia de magnesio)	potasio, magnesio, fósforo hierro, boro
nitrógeno nítrico (salitre)	potasio, molibdeno
azufre (ocurre cerca de los centros industriales)	calcio
fósforo (fertilizantes concentrados)	calcio, hierro y cinc
hierro (en suelos inundados)	manganeso, fósforo
manganeso (movilizado por una fertilización de sulfato de amonio)	hierro
cobre, cinc (especialmente en montes frutales pulverizados con fungicidas a base de cobre y cinc)	hierro, manganeso
Aluminio intercambiable	fósforo
boro (en suelos salinos)	molibdeno
níquel, cobalto, cromo (en suelos arenosos con aguda deficiencia de materia orgánica)	hierro

Un exceso puede significar toxicidad (119). La deficiencia, en este caso del elemento antagónico, no es verdadera sino inducida por un manejo errado que desequilibró la proporción correcta, y, por lo tanto, es una deficiencia relativa (32).

Cuanto menor es el poder tampón de un suelo, como ocurre en los arenosos, tanto más rápidamente aparecerá una deficiencia inducida por exceso de otro elemento. La fertilización es difícil, pero la materia orgánica es un poderoso elemento que amortigua los errores de manejo. Ella aumenta el poder tampón del suelo y con ello disminuye los peligros de desequilibrios minerales causados por una fertilización arbitraria. Cuanto menor es la CTC de un suelo, tanto más peligrosa es la desproporción de nutrientes. En suelos arcillosos, especialmente cuando tienen suficiente materia orgánica en descomposición, este peligro es mucho menor. *Sabemos que el mayor rendimiento no depende sólo de la mayor fertilización con NPK, sino del mejor equilibrio entre todos los elementos nutritivos* (36).

Como verificamos en la figura 8-12, en suelo tropical con arcilla predominantemente caulinítica y con poder tampón reducido, 2,0 t/ha de calcáreo aumentaron el pH de 3,8 a 5,5 y 4,0 t/ha a 6,5. En el suelo de clima templado con arcilla montmorilonítica sólo 30,0 t/ha de calcáreo consiguieron aumentar el pH a 6,5. Se explica con eso por qué muchas técnicas agrícolas pueden ser ejecutadas en clima templado sin problema ninguno, mientras que en clima tropical las dificultades surgen en seguida.

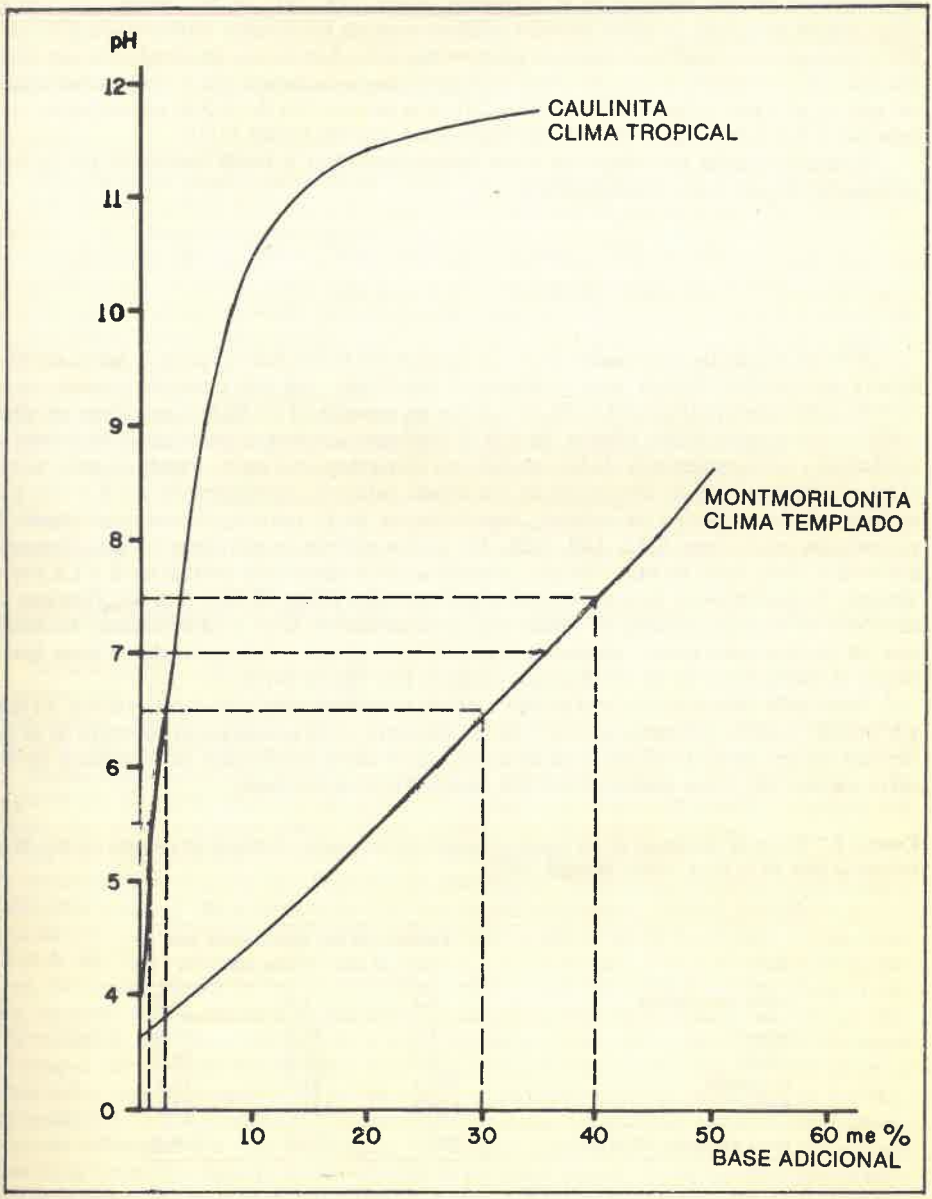


Fig. 8.12 *Reacción de un suelo tropical y de uno templado a la adición de una base (***Matsusaka,** *1964).*

Obs.: 1 me % equivale a 1.000 kg/ha de $CaCO_3$.

En suelos arenosos, el encalado como la fertilización potásica o aun la nitrogenada pueden causar la disminución de la cosecha. Son necesarias pero causan una acentuada desproporción en estos suelos con poder tampón reducido cuando los elementos antagónicos no son aplicados en la misma proporción. No existen proporciones sólo para los

nutrientes en general como para el nitrógeno/cobre (229, 292), lo que consecuentemente exige mayor cantidad de cobre cuando adicionamos un fertilizante nitrogenado (25, 135, 277); o para calcio/azufre, donde una proporción de 0,15 en la raíz de algodón causa paralización del crecimiento y una proporción de 0,05 causa su muerte (1); o entre potasio/calcio que en el arroz irrigado debe ser 10 (229); o la proporción de N-P-K en sus hojas, que debe ser 5-0,2-1,5; si fuera menor, no engendrará nuevos brotes (311).

También existen proporciones entre ácidos (aniones) y bases (cationes) (112), que siempre deben ser aproximadamente 1.

$$NO_3^- - SO_4^{=} - PO_4^{=} - Cl^- : K^+ - Ca^{++} - Mg^{++} - Na^+$$

100 a 103 (ácidos) : (bases) 100

Pueden variar las cantidades entre las bases o entre los ácidos, pero la suma de ellos deberá ser igual a 100:100 para mantener el equilibrio. Así por ejemplo, cuando sustituimos el nitrógeno nítrico (113) ($N\text{-}NO_3^-$) por un amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$) causamos un desequilibrio serio entre ácidos y bases, ya que el nitrógeno amoniacal pertenece a las bases; su oxidación a nitratos depende de las condiciones existentes en el suelo. Puede ocurrir, por lo tanto, la disminución de absorción de los demás cationes, especialmente de K y Ca, y el aumento de la necesidad de aniones, especialmente de P, para equilibrar nuevamente la proporción ácido/base (112, 140, 302). En suelos activos la nitrificación del nitrógeno amoniacal tiene lugar en poco tiempo, posibilitando la absorción normal de K y Ca por el vegetal. En suelos poco activos, es decir, mal aireados (falta M.O.), esta nitrificación no sucede o es muy incompleta, de modo que la absorción de K y Ca es deficiente, haciendo que las plantas sean extremadamente susceptibles a plagas y enfermedades. Causa igualmente la ineficiencia de la fertilización potásica (ver figura 8-10).

Para cada especie existe una proporción de nutrientes que le es característica. El mayor problema de la aplicación excesiva de un elemento no es solamente el aumento de la necesidad de los otros, también lo es la disminución de la posibilidad de absorción de los otros elementos, como consecuencia del desequilibrio ácido/base.

Cuadro 8.7 *Tenor en minerales de las hojas de remolacha con dosis crecientes de potasio (en me % de sustancia seca de la hoja, según* **Mengel,** *1972)*

	Potasio en mg equivalente por litro de la solución nutritiva		
iones absorbidos	0,2	1,0	5,0
potasio	7,9	23,5	107,9
calcio	73,0	57,0	39,0
magnesio	103,3	87,7	75,4
sodio	115,2	132,1	92,1
total de iones absorbidos	299,4	300,3	314,4

El total absorbido permanece aproximadamente estable, aunque con el aumento de K en la solución disminuye la absorción de los otros cationes. Por lo tanto, una fertilización rutinaria de NPK puede causar la absorción deficiente de calcio, pues tanto el nitrógeno amoniacal como el potasio pesan del lado de los cationes. El resultado es una deficiencia de calcio en la planta, que se expresa por un aprovechamiento deficiente de potasio y por la toxicidad de aluminio o manganeso.

La base de una fertilización exitosa es un abastecimiento suficiente del suelo con calcio, fósforo y materia orgánica. Así el equilibrio con el potasio mejorará porque el nitróge-

no amoniacal se nitrificará y consecuentemente pasará a ser un anión. En suelos típicamente arenosos, de difícil manejo, se aconseja el abono verde como fuente de nitrógeno, o la promoción de la fijación de nitrógeno por microorganismos de vida libre, evitando los problemas con los otros cationes (ver capítulo 6).

Resumen

Deberá haber equilibrio entre los nutrientes como Ca/Mg + K, N/P, N/Cu, P/Fe, Zn, Mn, K/B, Cu/Mo, S/P, etc., y deberá haber igualmente un equilibrio entre aniones y cationes que siempre es aproximadamente 1.

En suelos de las zonas tropicales, con poder tampón reducido, ocurre fácilmente un desequilibrio por la fertilización. Eso se evita con un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo, que debe ser renovado periódicamente (ver capítulo 4). Para el mantenimiento de este equilibrio es esencial la conservación de la microvida activa, y ésta, a su vez, necesita de materia orgánica, fósforo y calcio. El mantenimiento de un nivel adecuado de calcio en el suelo es importante, aunque su aplicación a veces deba ser hecha en forma de $CaSO_4$ (yeso), para evitar una elevación brusca del pH que muchas veces no soportan los cultivos tropicales. En ocasiones tiene que ser hecha para el cultivo precedente, para haber salido de la superficie del suelo y no permanecer junto a los micronutrientes, como por ejemplo en el "feijão" (poroto); en otros casos debe ser aplicado en cobertura para estar en la zona superior del suelo pero no interferir con la absorción de potasio, como ser en el maní; o puede ser dado también en la proyección de la copa del árbol, como es el caso de los olivos (91a).

LA EDAD FISIOLOGICA DE LA PLANTA Y SU EFECTO SOBRE LA ABSORCION

Generalmente la planta anual absorbe más de la mitad de los nutrientes hasta la plena floración (90a, 157, 172). Las plantas perennes normalmente poseen más potasio en las hojas nuevas, mientras que las viejas son más ricas en calcio (19). En plantas con crecimiento fuerte ocurre el "efecto de dilución" (72), quiere decir, por área o peso del tejido vegetal hay menos iones nutritivos, siendo la cantidad de iones absorbidos "diluidos" en un área mayor (140). El menor tenor en nutrientes no precisa necesariamente acusar una absorción y nutrición deficiente, pero puede indicar también un crecimiento intenso.

Es bien conocido que un análisis foliar solamente es comparable con otro cuando están tomados en plantas con idénticas edades fisiológicas. Se distingue la edad real y la edad fisiológica. La edad real se cuenta en días después del nacimiento, la edad fisiológica, por el nivel de crecimiento vegetal, por ejemplo en el maíz la aparición de la primera espiga, aparición de las "barbas" o aparición de la panoja; en el trigo, macollaje, aparición de las espigas, floración, granos lechosos; o en el algodón, aparición de la 5a. hoja, plena floración, comienzo de la abertura de los capullos, etc. Este nivel de la planta depende no sólo de la variedad, sino esencialmente de la nutrición de la planta, del abastecimiento con agua y el ataque por insectos. Puede haber una maduración prematura por alguna adversidad, y puede haber una prolongación de la fase negativa, en especial por la deficiencia de P y Mg. Los cuadros 8-13 y 8-14 muestran la absorción del trigo y el algodón en edades diferentes, pero con referencia a la edad fisiológica. Verificamos que la mayor absorción tiene lugar antes de la floración, cuando la actividad de la planta es mayor. En el algodón ocurre otro pico en la absorción de P antes del inicio de la abertura de los capullos y otro de N poco antes de la maduración total.

Las necesidades nutricionales de la planta nueva son mayores que las de la planta vieja que, por el contrario, puede desasimilar nutrientes de la raíz hacia el suelo, como por ejemplo, el potasio y el fósforo.

No sirve de nada abastecer sólo con potasio, sin calcio, porque la planta deficiente en calcio deja de retener el potasio, ya que el calcio es indispensable en la estructuración del plasmalena de la célula (162) y en la capacidad de "retener" los iones absorbidos.

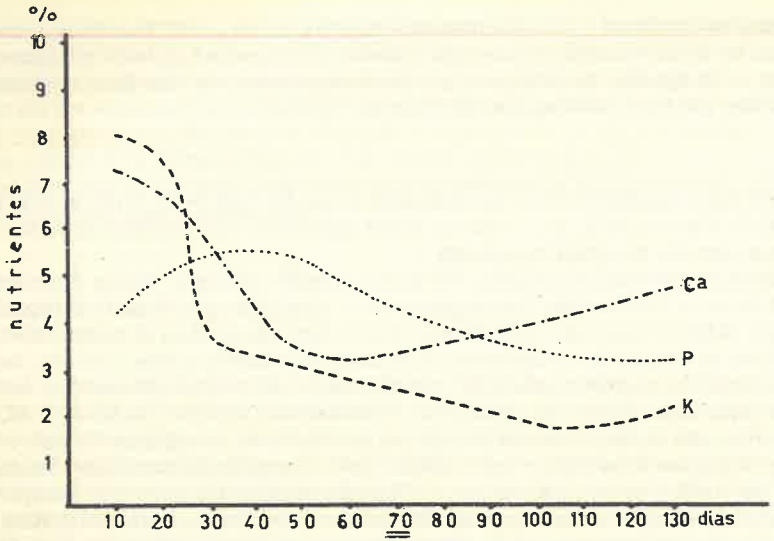


Fig. 8.13 *Absorción de nutrientes por el trigo en varios "estagios" de desarrollo (***Gargantini** *y otros, 1973).*

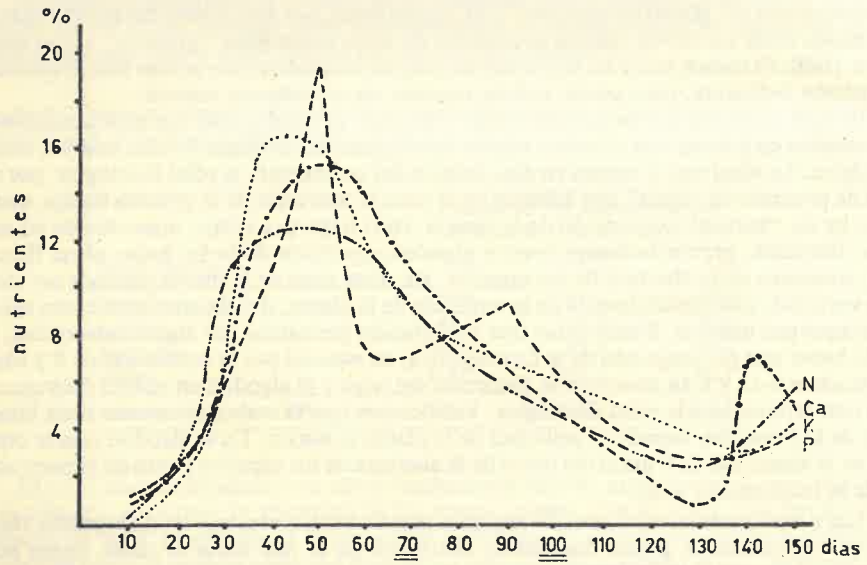


Fig. 8.14 *Absorción de macronutrientes por el algodón, creciendo en solución nutritiva (***Malavolta,** *1962).*
Obs.: 70 = plena floración; 100 = apertura de los capullos.

También es equivocado querer dar todo el nitrógeno en la época de la formación de granos, dejando que falte durante el perfilamiento y en el inicio del crecimiento. La planta adulta es como el ganado adulto que sólo engorda con buen pasto, con pastos pobres es incapaz de formar carne. Grandes cantidades de nitrógeno en la fase reproductiva, es decir, a partir de la formación de las flores, provocan muchas flores estériles cuando las plantas fueron "criadas" bajo el régimen de deficiencia de nitrógeno (276).

Por lo anterior, el N no puede faltar en la planta nueva.

INFLUENCIA DE LA SOMBRA Y DE LA INSOLACION DIRECTA SOBRE LA ABSORCION

Es de conocimiento general que la planta bajo el sol absorbe mucho más calcio que la que está a la sombra (92). Y las plantas de zonas secas son mucho más ricas en calcio que las de terrenos húmedos.

En suelos pobres en calcio, el sombreamiento reduce aún más su tenor en los pastos ("capins"), al punto que el ganado los rechaza (226). Por otro lado las plantas de sombra, con bajo nivel de calcio (102), absorben más micronutrientes (133), ya que el calcio y el manganeso se inhiben mutuamente, como se muestra en la figura 8-15.

Comprobamos que a medida que aumenta la absorción de Mn baja la de calcio y viceversa.

En suelos sombreados y, por lo mismo, más húmedos en la superficie, la absorción de potasio es mayor (102), pudiendo llegar al punto de agotar ese elemento del suelo, debido a que las condiciones permanentemente favorables a la absorción de un elemento son igualmente condiciones que aceleran su agotamiento. En Rio Grande do Sul, en los suelos poco

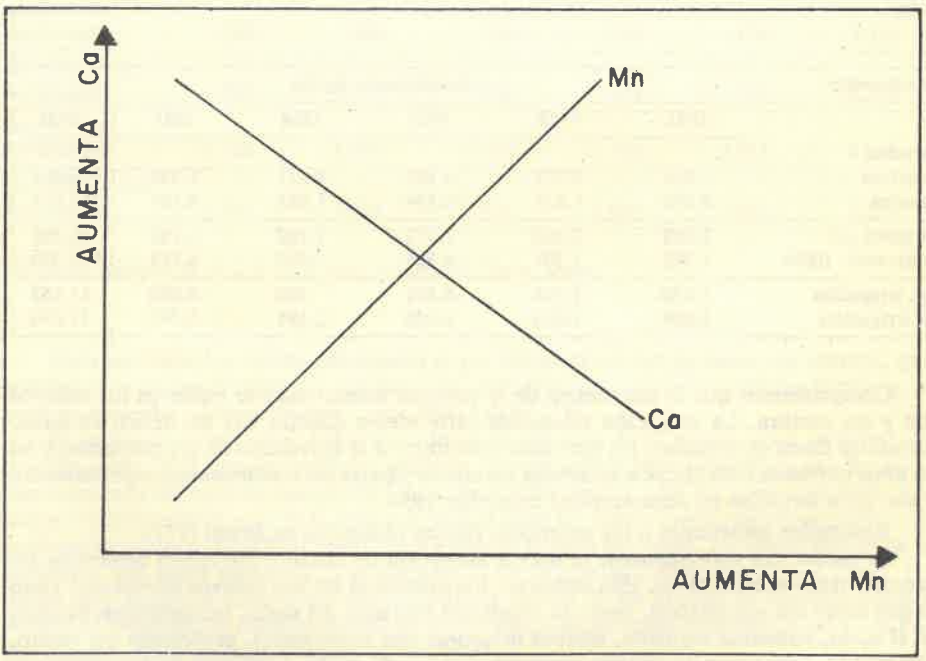


Fig. 8.15 *Absorción de calcio y de manganeso por la planta (***Primavesi,** *1971 (81)).*

profundos de la frontera, con nivel elevado de calcio y pH sobre 6,3, el molibdeno se tornó deficiente por tener permanentemente buenas condiciones para su absorción. En suelos ácidos, sin embargo, la elevación del nivel de calcio, mediante un encalado, aumenta la disponibilidad de molibdeno que estaba presente sin poder ser absorbido (230).

Las ventajas de la sombra son: Los árboles de sombreamiento actúan al mismo tiempo como corta-vientos, disminuyendo la acción de los vientos secos y cálidos. La temperatura será más estable dentro del cultivo y en el suelo, y no sufrirá oscilaciones ni habrá peligro de heladas. La humedad del suelo superficial será mayor y su drenaje se mejorará por las raíces de los árboles de sombreamiento. Estos árboles también transportan nutrientes del subsuelo a la superficie, que luego se incorporarán al suelo superficial con las hojas caídas. Generalmente adicionan nitrógeno, que puede llegar hasta 100 kg/ha (278). Habrá muchas menos hierbas invasoras y menos enfermedades vegetales. En Costa Rica, el ataque de la *Phytophtora palmivorum* en el cacao es mucho más intenso en las plantaciones sin sombra que en las sombreadas. El suelo sombreado conserva su bioestructura favorable, sin que haya necesidad de preocuparse por ella y, por lo tanto, es capaz de mantener a las plantas con más vigor. Sin embargo, las plantas de café, cacao y té-de-la-india, en suelos agotados, reaccionan muy poco a la fertilización cuando están sombreados en un 100 %. La sombra debe ser de aproximadamente un 30 %, debiendo ser elegidos árboles preferencialmente no concurrentes en agua. En zonas con nivel freático muy profundo y con "veranicos" pronunciados, no se aconseja el uso de árboles de sombreamiento ni aun en la base del 30 %, y sí se aconseja el sombreamiento del suelo como será explicado más adelante. Normalmente las cosechas de plantaciones con un 30 % de sombra son menores que las de las plantaciones no sombreadas, aunque aquéllas son más estables, sin grandes oscilaciones y su costo es menor.

Cuadro 8.8 *Efecto de sombra y de irrigación en la producción de café Bourbon y Caturra (***Carvajal,** *1972)*

Tratamiento	*Rendimiento kg/ha*					
	1951	1952	1953	1954	1955	total
variedad						
Bourbon	2.074	1.773	6.163	1.611	5.240	16.861
Caturra	2.085	1.818	6.494	1.084	4.191	15.672
en pleno sol	2.598	2.264	7.773	1.760	5.240	19.595
sombreado 100%	1.592	1.307	4.925	935	4.191	12.920
con irrigación	2.250	1.724	6.601	500	4.088	15.163
sin irrigación	1.609	1.876	6.056	2.195	5.343	17.070

Comprobamos que la alternativa de la cosecha buena/mala se repite en los ensayos con y sin sombra. La irrigación solamente surte efecto cuando hay un déficit en agua, cuando la lluvia es irregular. En este caso contribuye a la lixiviación de los nutrientes y en los años normales contribuye a aumentar los costos y bajar los rendimientos, especialmente si son años lluviosos en zona tropical como fue 1954.

Resultados semejantes a los anteriores fueron obtenidos en Brasil (177).

Se piensa que especialmente la mayor absorción de calcio y nitrógeno determina los mayores rendimientos al sol. ¡Sin embargo, los cultivos al sol son cultivos intensivos! Todo lo que antes era automático, como la condición biofísica del suelo, temperaturas estables en el suelo, humedad regulada, hierbas invasoras casi controladas, protección del viento, sombreado, reposición de materia orgánica y, en cierto grado, la adición de nutrientes por las hojas caídas y la fijación microbiana de nitrógeno, ahora debe ser proporcionado por el

Cuadro 8.9 *Efecto de la sombra sobre el desarrollo de plantas nuevas de* C. arábica **(Machado,** *1934)*

Tratamiento	*Sombra*		
	0%	40%	75%
número de hojas con 6,6 meses	3.813	4.093	1.453
superficie de 9 hojas en cm^2	642	801	172
número de ramos con 6,6 meses	301	320	0
peso de las raíces en gramos	29,14	44,72	7,59

productor, o en caso contrario ocurrirá una caída muy rápida en la productividad del suelo como en los cultivos de cacao y café a pleno sol, en especial en suelos arenosos.

La respuesta del cacao al fertilizante es mayor sin sombra, pero está comprobado que reacciona casi de la misma forma con un 40 a 50 % de luz como a un 100 % (fig. 8-16).

Cuadro 8.10 *Ensayo con sombra y fertilizantes en cacao* **(W.A.C.R.I.** *1965,* **Gana)** *(rendimiento en kg/ha)*

tratamiento	1957/58	1958/59	1959/60	1961/62	1963/64	1964/65
sombra sin fertilizante	586	958	756	494	1.036	1.183
sin sombra ni fertilizante	849	1.211	906	679	1.398	1.640
sombra con fertilizante	1.100	2.348	2.187	1.516	2.018	2.259
sin sombra con fertilizante	1.602	3.091	3.474	2.435	3.023	3.275

De: *Ann. Reports* W.A.C.R.I., C.R.I. y C.R.I.G. Tafo, Gana.

Para justificar los costos adicionales a que obliga el cultivo de cacao sin sombra, que provienen de pastos ("capins"), fertilización, conservación del suelo y defensa sanitaria, la cosecha debe dar, como mínimo, unos 3000 kg/ha (53).

El problema principal de todos los cultivos al sol, sean de té, café o cacao, es la protección del suelo (291), que se consigue, también, por un menor espaciamiento y una fertilización adecuada del cultivo, que garantice un desarrollo rápido, y tal vez, por un cultivo protector ("cover crop"), que en la época de sequía debe ser usado como cobertura muerta superficialmente incorporada al suelo, para evitar el peligro de fuego. La conservación de la estructura del suelo garantiza la conservación de la productividad del cultivo (310). En suelos muy arenosos se aconseja sólo la retirada parcial de los árboles de sombreamiento, porque es imposible el mantenimiento de la estructura en un suelo expuesto al sol y a la lluvia, aunque exista la concurrencia de nutrientes.

Si la bioestructura decae hay aumento de la *Phytophtora* en el cacao, y un "die-back" muy fuerte en los cafetos.

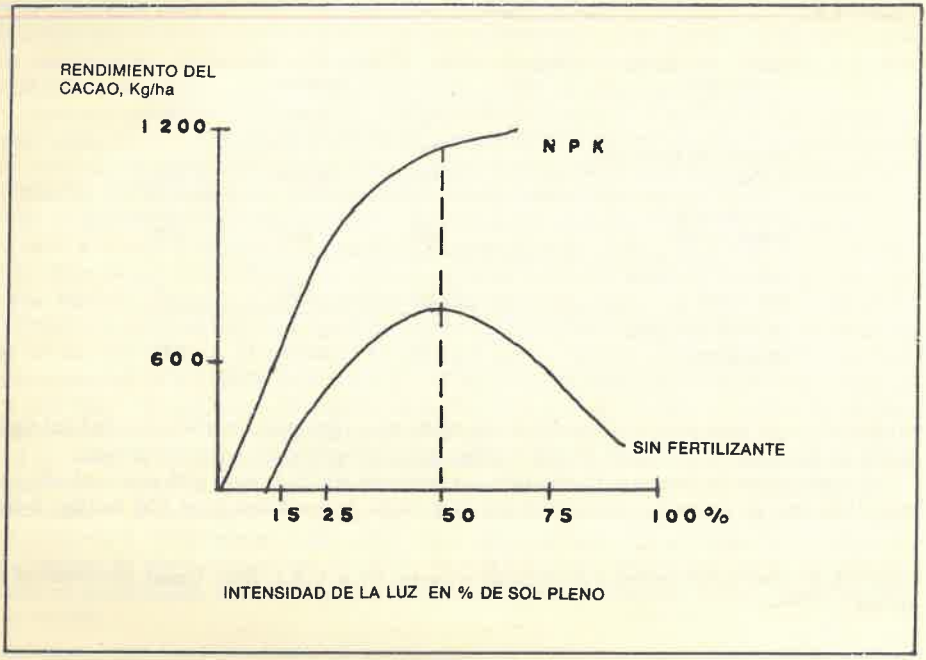


Fig. 8.16 *Respuesta del cacao al fertilizante con creciente intensidad de luz* (**Murray**, *1958*).

Resumen

Las plantas insoladas consumen más calcio, y por lo tanto, necesitan encalado (102). De la misma forma, ellas consumen más nitrógeno, por lo que necesitan una fertilización mayor. En los suelos insolados las cosechas son mayores, pero las plantas necesitan más potasio, cinc y magnesio (157).

Al retirar la sombra se modifican las necesidades del cultivo. Si estas exigencias no son atendidas, un cultivo insolado va a proporcionar menor lucro, porque exige mayores inversiones que no está garantizado que se recuperen cuando el suelo está física, química y biológicamente decaído.

LA RIQUEZA MINERAL DE LA SEMILLA Y LA ABSORCION DE NUTRIENTES

Cuando la semilla inicia la germinación, parece que su "programa" para la utilización de nutrientes está siendo elaborado. Si un nutriente existe en cantidad insuficiente, sólo podrá ser utilizado en cantidad deficiente durante todo el crecimiento. Sólo así se puede explicar el hecho de que las plantas de semillas deficientes producen a su vez plantas deficientes, como por ejemplo, la coliflor con deficiencia de molibdeno ostentando un limbo foliar prácticamente reducido a la vena principal y que no reacciona a una fertilización del suelo o foliar con molibdeno, aunque lo absorba. Sin embargo, cuando de una planta fertilizada con molibdeno se desarrolla una semilla y ésta es plantada, aun en suelo deficiente en molibdeno dará una planta perfectamente normal (297). **Bakurdzhieva** (9) explica eso por el hecho de haber sistemas metabólicos diferentes, según la concentración de los micronutrientes. Un máximo de crecimiento puede producirse con dos concentraciones diferen-

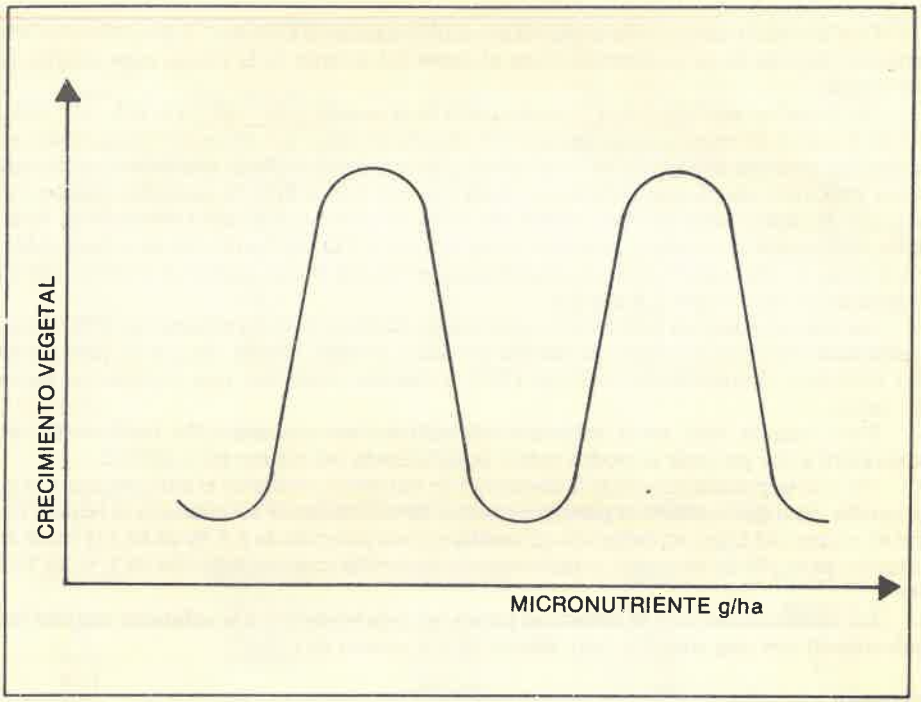


Fig. 8.17 *Efecto de dosis crecientes de micronutrientes sobre el desarrollo vegetal (***Bakurdzhieva,** *1970).*

tes, como se muestra en la figura 8-17. La planta puede crecer con un abastecimiento deficiente de algún nutriente, pero la cantidad y calidad del producto serán deficientes. Por eso hoy es común distinguir el *valor biológico* de una planta o de una fruta.

Podemos sacar en conclusión que la fertilización de un elemento menor no podrá producir efecto, mientras la semilla sea deficiente en el mismo, ya que la planta tendrá hecho un "programa" de uso deficiente de ese nutriente. El enriquecimiento de la semilla es, por lo tanto, una práctica indispensable cuando proviene de campos pobres. Pero sólo tendrá efecto cuando no hay necrosis del germen o del tejido de reserva, como muestran las figuras 8-8 y 8-7, y cuando la deficiencia no causó modificaciones estructurales, sino únicamente metabólicas. Por otro lado, el enriquecimiento de semillas que ya están bien nutridas no produce mayor efecto (218, 224).

Enriquecimiento de la semilla

Las semillas de suelos pobres se benefician claramente con el enriquecimiento de sus granos con los micronutrientes necesarios para el cultivo (9). De esta forma, el enriquecimiento de arroz con cobre (224), o de maíz con cinc y boro (220, 237) no sólo aumenta el volumen radicular de la planta hasta cuatro veces, también garantiza un desarrollo juvenil muy rápido y sin "dos crecimientos". El fenómeno de los "dos crecimientos", muy común en el maíz y la caña de azúcar, tiene lugar cuando terminaron las reservas de la semilla, pero la raíz todavía está demasiado débil para poder abastecerse del suelo. Entonces se detiene el crecimiento hasta que la raíz se desarrolle más y la planta puede abastecerse del suelo. En esta etapa ella es extremadamente susceptible a plagas y enfermedades, por no tener prácticamente defensa ninguna.

Con la semilla enriquecida la planta tiene un crecimiento continuo, y generalmente seis semanas después de su nacimiento, tiene el doble del tamaño de la planta cuya semilla no fue tratada.

Las cosechas aumentan con el tratamiento de la semilla (125, 188, 212, 218, 227, 268). Sin embargo el aumento ocurre únicamente cuando el índice del elemento enriquecido, en la semilla, está por debajo de un nivel crítico. Menos del 0,08 % de molibdeno en el maíz causa desarrollo de plantas deficientes, mientras que 0,09 a 0,20 % garantiza plantas sanas, aun en suelos deficientes en molibdeno (203). El tenor de un cierto elemento en la semilla varía según la variedad, pudiendo estar entre 99 y 132 mg/kg de cinc en el maíz (163). En la soja, un enriquecimiento con molibdeno producirá efecto cuando el nivel de éste en la semilla sea menor que 1,6 mg/kg.

No sólo las cosechas podrán ser aumentadas, también podrán evitarse las deficiencias mediante el enriquecimiento de la semilla (semillas, acodos, estacas, etc.) (65), justamente por incentivar el crecimiento radicular (200), y con eso posibilitar una exploración mejor del suelo.

Pero cuando este suelo estuviera agotado en ese elemento, la fertilización no equivaldrá a esa carencia ni podrá cubrir la deficiencia del mismo en el cultivo.

No sólo es posible aumentar la absorción de nutrientes mediante el enriquecimiento de la semilla, sino que también es posible aumentar la resistencia de las plantas a la sequía, como en el caso del trigo, embebiendo su semilla en una solución de 2,5 % de KCl (5 litros de solución para 100 kg de trigo), o pulverizando la semilla con una solución de 1 % de KCl (4).

Lo mismo ocurre con el arroz que puede ser más resistente a la salinidad cuando fue pulverizado con una solución muy diluida de sal común (0,1 %).

Resumen

La absorción de la nueva planta puede ser mejorada cuando su semilla está suficientemente abastecida con nutrientes, para aumentar el crecimiento radicular. El efecto de una fertilización del suelo con micronutrientes (200) depende de la riqueza de la semilla en este elemento, y puede ser nulo cuando la semilla es deficiente, por ser incapaz de aprovechar este elemento del suelo. Un enriquecimiento por imbibición (en solución de 0,002 a 0,005 %, es decir, de 20 a 50 mg por litro de agua), o pulverización (con una solución a 1 %, es capaz de superar la inhibición inicial de la planta, aumentar el aprovechamiento de los fertilizantes y aumentar la cosecha de cereales y leguminosas.

El enriquecimiento de la semilla no equivale a una fertilización, pues puede tan sólo estimular la absorción cuando el suelo todavía está razonablemente abastecido con este elemento. Cuando el suelo es muy deficiente, raramente sustituye una fertilización, y aparte de enriquecer la semilla se debe fertilizar el suelo.

Cuadro 8.11 *Consumo de nutrientes en 1975 (Kg/ha en toda el área plantada)*

Región	*N*	*P_2O_5*	*K_2O*	*Total*
Norte	10,4	10,0	10,2	30,6
Noreste	4,2	4,5	4,6	13,3
Centro-Oeste	6,6	18,3	10,7	35,5
Sur	9,7	33,4	15,7	58,8
Sudeste	17,7	38,2	23,8	79,8
Brasil (promedio)	10,0	25,5	14,3	49,7

Fuente: *Sistema Nacional de Planeamiento Agrícola.*

Cuadro 8.12 *Evolución del consumo por hectárea, de fertilizantes en el Estado de São Paulo (ANDA)*

Años	*En relación al área cultivada*	*Indice*	*En relación al área cultivada + pastura artificial*	*Indice*
1969	51,9	100,0	24,7	100,0
1970	69,1	133,1	30,7	124,3
1971	81,2	156,4	36,7	148,6
1972	93,6	180,3	39,8	161,1
1973	113,6	219,0	47,9	194,0
1974	110,9	213,7	48,0	194,3
1975*	115,3	222,2	50,2	203,2
1976**	125,0	240,8	55,6	225,1

* estimativas
**previsto
Fuente: *Instituto de Economía Agrícola,* octubre 1976.

Cuadro 8.13 *Consumo aparente de fertilizantes, en toneladas de nutrientes (1975)*

Nutriente	*Producción nacional*	*Importación*	*Consumo aparente*	*Participación nacional %*
N	160.755	223.888	384.643	41,79
P_2O_5	515.970	478.754	994.724	51,87
K_2O	—	507.268	507.268	0,00
NPK	676.725	1.209.910	1.886.635	35,86

Fuente: *Sindicato de Industrias de Fertilizantes y Colas de São Paulo.*

Cuadro 8.14 *Una cosecha lleva aproximadamente los siguientes nutrientes de 1 hectárea (Fuentes:* **Malavolta, Vageler, Wrigley***)*

Cultivo	*Rendimiento (Kg/ha)*		*Nutrientes retirados (kg/ha)*				
	granos	paja	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg
alfalfa	(heno)	10.000	280	33	137	218	18
maní	—	—	85	15	50	—	—
soja	1.200	—	120	32	40	—	—
poroto	2.000	3.000	175	46	121	36	8
arveja	2.000	3.200	125	21	68	477	7
avena	3.200	4.800	90	35	83	14	7
arroz	2.500	—	90	38	95	—	—
maíz	3.000	5.400	98	41	109	18	15
trigo	6.000	10.000	150	80	230	36	27
sorgo	3.000	—	100	21	136	36	5
tabaco (hojas)	—.	1.000	84	27	174	132	24
papa	20.000	10.000	118	43	198	54	18
tomate	—	—	100	35	175	—	—
mandioca	—	—	80	50	140	—	—
algodón	—	—	84	22	271	—	—
papa	—	—	66	17	96	—	—
café (arabica)	1.000	(café seco y descascarado)	34,0	5,1	48,0		

cacao	700	(semilla)	19	10	14	—	—
té-de-la-india	800	(hoja seca)	36	7	17	—	—
caucho	1.000	(seco)	8	3	6	—	—
bananas	40.000	—	70	20	200	—	—
caña de azúcar	—	80.000	40	50	130	—	—
coco	1.200	(pulpa seca)	55	15	50	—	—

LA FERTILIZACION

Remoción de nutrientes por la planta

Cuando la planta nace, crece y muere en el mismo lugar, ella devuelve los nutrientes que retiró del suelo y el ciclo se completa.

Cuando criamos plantas para después llevar las cosechas a otros lados, y muchas veces exportarlas, los nutrientes retirados del suelo no vuelven más. Y el suelo se empobrece.

En los campos agrícolas, también se pierden nutrientes por lixiviación y erosión. Por lo tanto, es lógico sustituir lo que fue tomado, para no agotar los suelos.

Pero, junto a los nutrientes citados, los cultivos todavía retiran azufre y micronutrientes. El retiro de azufre varía entre 15 y 20 kg/ha por año y cultivo. El de los micronutrientes varía según el cultivo y el rendimiento. En un año se retiran aproximadamente:

Cuadro 8.15 *Retiro de micronutrientes por diversos cultivos (g/ha).* (133)

Cultivo	*Boro*	*Cobre*	*Manganeso*	*Cinc*	*Molibdeno*	*Cobalto*
cereales de granos pequeños	50 - 70	50 - 70	160 - 460	150 - 250	3 - 6	1 - 2
papa y otras solanáceas	50 - 70	40 - 60	300 - 450	200 - 500	3 - 6	1 - 2
alfalfa	500 - 700	70 - 90	400 - 500	400 - 500	5 - 20	2 - 5
gramíneas forrajeras	70 - 90	30 - 60	250 - 360	200 - 400	3 - 20	1 - 3

La cantidad varía, por supuesto, con la especie, la variedad, la fertilización comercial con NPK y el suelo en que crece, pudiendo llegar a retirar hasta tres veces más de un suelo que de otro.

Bertrant (1936) da una relación del boro encontrado en la sustancia seca de las hojas de varias especies.

Cuadro 8.16 *Tenor de boro en mg/kg de sustancia seca*

cebada	2,3	mostaza	21,9
centeno	3,1	"tanchagem"	22,5
trigo	3,3	zanahoria	25,0
maíz	5,0	tabaco	25,0
lino	7,1	alfalfa	27,0
espinaca	10,4	trébol rojo	36,2
achicoria	13,1	repollo	37,1
perejil	13,5	soja	37,1
malva	14,4	mostaza pr.	53,3
papa	14,5	rabanito	64,5
poroto	16,5	lechuga	69,9
tomate	17,0	amapola	94,7

La cantidad de boro contenida en la hoja no indica necesariamente la exigencia de tenores elevados de boro en el suelo. Muchas veces la planta consigue absorber el elemento de combinaciones poco asimilables.

Los suelos podzólicos de pradera, cuando son plantados, dan los siguientes grados de respuesta a la fertilización con sulfato de cobre (133):

Cuadro 8.17

Ninguna	*Poca a mediana*	*Mediana a fuerte*	*Fuerte a muy fuerte*
poroto	repollo	cebada	lechuga
apio	remolacha	zanahoria	cebolla
maíz	papa	coliflor	espinaca
menta	tomate	sorgo	"sudan-grass"
arveja	tabaco	avena	trigo
		girasol	
		remolacha roja	

Lo mismo vale para todos los otros elementos. La respuesta depende siempre de la especie y también de la variedad. Cada variedad necesita y absorbe nutrientes según sus características. Pero, *mientras la absorción varía mucho, la concentración en la hoja es semejante y las proporciones son idénticas.*

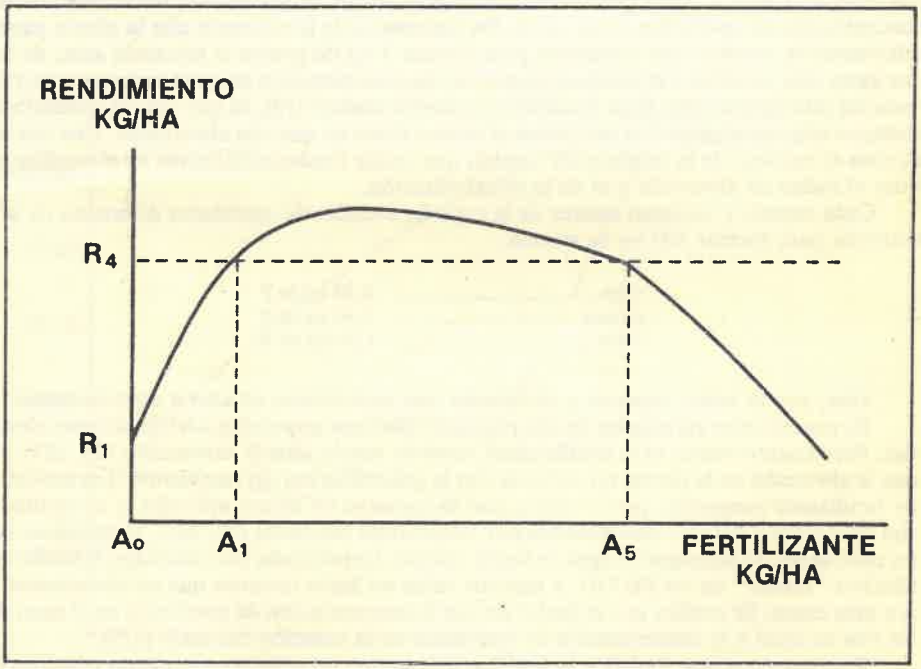


Fig. 8.18 *Curva de rendimiento del fertilizante en ensayo de calibración.*
R_4 = rendimiento con fertilizante; R_1 = rendimiento sin fertilizante
A_0 = cantidad nula de fertilizante; A_1 = cantidad de fertilizante para aumentar la cosecha al máximo; A_5 = cantidad de fertilizante 5 veces más que A_1, que sin embargo produce indéntica cosecha

Eficiencia de la fertilización

Para reponer lo que retiró la cosecha, se fertiliza. Existen dos sistemas de fertilización:

1. fertilizar para aumentar la cosecha, por necesitar alimentos imperiosamente, a cualquier costo;
2. fertilizar para obtener un lucro mayor en la actividad agrícola.

Donde las tierras pertenecen al gobierno, es posible fertilizar sin preguntar si es económico. En países donde las propiedades están en manos privadas, esta táctica significa la dependencia incondicional de bancos y créditos, y generalmente no contribuye al bienestar de la población rural.

Costo de la fertilización

Se comprueba que con el aumento de la fertilización podemos aumentar la cosecha hasta encima del punto A_i/R_4. Pero de allí en adelante, con el aumento progresivo de abonos, la cosecha no aumenta más, comenzando a disminuir hasta que, con cantidades masivas de fertilizante, llegamos a alcanzar el mismo nivel de rendimiento que con cantidades mínimas. Con el aumento del fertilizante por sobre el nivel óptimo, disminuye la cosecha hasta dar menos que sin abonos. El exceso de fertilizante NPK causa la deficiencia de Cu, Zn y B, de modo que se torna prácticamente tóxico.

Teóricamente, con el aumento gradual de los micronutrientes respectivos, se debería permitir la aplicación cada vez mayor de NPK, aumentando así las cosechas. Sin embargo, la cantidad que puede ser absorbida y metabolizada depende de la variedad y de su potencial genético (146). Y cuanto más elevada es la producción de una planta, tanto mayor es la concentración de nutrientes en su savia. En variedades de producción alta la planta gasta relativamente muchos más nutrientes para formar 1 kg de granos o sustancia seca, de lo que gasta una variedad con producción menor. La concentración de iones en la savia de variedades ultraproductivas llega finalmente a niveles tóxicos (19), lo que ocurre cuando no consigue más metabolizar los nutrientes al mismo ritmo en que son absorbidos. Con eso se alcanza el máximo de la producción vegetal, que reside fundamentalmente en el equilibrio entre el índice de absorción y el de la metabolización.

Cada especie y variedad dentro de la especie, necesita de cantidades diferentes de un nutriente para formar 100 kg de semilla.

trigo.....	0,63 kg de P
girasol.....	1,40 kg de P
colza.....	1,70 kg de P

Hay, por lo tanto, especies y variedades más económicas en uno u otro elemento.

Es posible criar variedades de alta productividad que respondan a fertilizaciones elevadas. Pero cuanto mayor es la fertilización, también mayor será su lixiviación (150, 285), ya que la absorción de la planta no coincide con la solubilización del fertilizante. Las pérdidas de fertilizante aumentan, por lo tanto, con la cantidad de abono aplicado, y el resultado son ríos, lagos y diques contaminados por fertilizantes lixiviados (80, 281), formándose tales cantidades de algas que el agua se torna viscosa, inapropiada para animales y hombres. Muchos "creeks" en los EE.UU. y muchos valles en Suiza tuvieron que ser abandonados por esta causa. Se explica por el hecho de que la concentración de nutrientes en el agua de los ríos es igual a la concentración de nutrientes en la solución del suelo (139).

Se imponen, pues, límites a la fertilización, tanto con relación a la planta como en lo referente a las aguas. Las fertilizaciones masivas generalmente son antieconómicas y aparte de ello son nocivas para el medio ambiente (261, 281).

Son las fertilizaciones moderadas las que dan más lucros, ¡como son las lluvias mansas las que dan las mejores cosechas!

La "historia" o "background" de la variedad

Actualmente se sabe que cada variedad posee un potencial genético específico de producción y de respuesta a la fertilización, lo que depende de su capacidad de absorber y metabolizar (148). Eso significa que la fertilización no deberá ser planeada para el cultivo de soja, trigo, algodón o caña de azúcar, sino para sus variedades, como por ejemplo, de soja tipo Santa Rosa, Davies, Hardee, etc. Para fertilizar económicamente, debe ser conocido el historial de la variedad (64). ¡Pero debe recordarse que cada variedad reacciona de manera diferente en cada tipo de suelo!

Existen variedades resistentes a la acidez del suelo, dispensando una corrección del pH. Pero son resistentes no porque no necesiten de calcio, sino al contrario, por ser capaces de absorber calcio de suelos donde otras variedades mueren por su deficiencia (98). Lo mismo ocurre con el fósforo. Mientras las variedades sensibles a las altas concentraciones de fósforo muestran una reducción de la cosecha después de sus aplicaciones, otras que son capaces de absorber mayores cantidades de cinc, son insensibles a las altas concentraciones de fósforo (66, 208), reaccionando favorablemente al fertilizante.

También la absorción de nitrógeno (94) o potasio (106) está ligada a la variedad. *Ninguna variedad consigue absorber iones más allá de su nivel característico, excepto potasio* (147, 219, 311).

En la figura 8-19 se puede comprobar que cada variedad tiene una respuesta específica a la fertilización. Esta respuesta varía según el tipo de suelo, ya que la concentración de elementos nutritivos en cada tipo de suelo es diferente, incluyéndose los micronutrientes. En este suelo, sólo la variedad de soja Santa Rosa mostró la respuesta esperada a una fertilización: aumento de rendimiento a medida que se acrecientan los diferentes elementos nutritivos. Las otras variedades reaccionaron en parte negativamente a la fertilización y al encala-

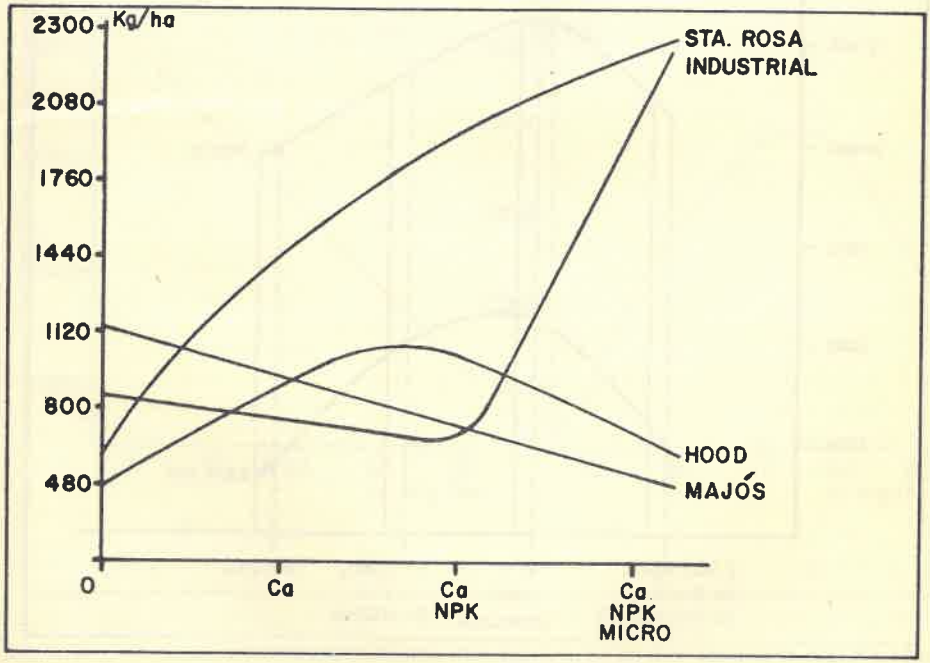


Fig. 8.19 *Respuesta de cuatro variedades de soja a la fertilización* (**Primavesi, *1970).***

Fig. 8.20 *Respuesta del trigo a la fertilización, en suelo pastoril.*

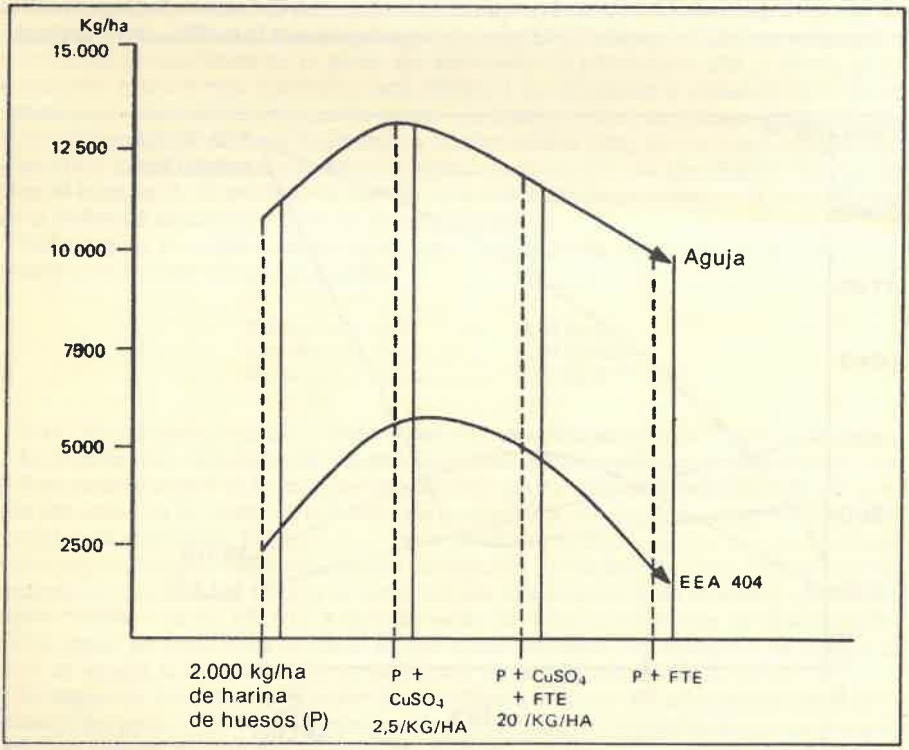


Fig. 8.21 *Efecto de la fertilización en dos variedades de arroz.*

do (var. Majós), en parte negativamente a la aplicación de NPK, mientras no fueron adicionados los micronutrientes, y en parte reaccionaron positivamente al encalado y al NPK, pero negativamente a los micronutrientes. En la figura 8-20 la respuesta a la fertilización impresiona, aunque se trate de suelo pobre pero grumoso.

En la figura 8-21 las formas de las curvas de respuesta son idénticas para las dos variedades, pero la cantidad de grano producido es muy diferente.

La respuesta a la fertilización no difiere sólo para cada variedad, sino también para cada suelo (20). El potencial de absorción y utilización de un nutriente depende de la variedad (70). Pero del suelo es de donde depende la cantidad disponible de micronutrientes, que actúan como catalizadores en la metabolización de los nutrientes. Depende igualmente de la cantidad de micronutrientes movilizados por la fertilización, como por ejemplo, de manganeso por el nitrógeno, que pueden tornarse tóxicos, como ocurrió probablemente en el caso presentado en la figura 8-22.

Una experimentación oficial de selección de variedades y de fertilización sólo en algunos puntos del país, no es suficiente, sirviendo más como incentivo que por sus resultados. Cada agricultor debe ser su propio investigador tratando de seleccionar las variedades que mejor se den en sus suelos y descubriendo las cantidades y proporciones de fertilizantes que le son rentables. Quien considere los datos de experimentación oficial como exclusivos, nunca podrá esperar más que rendimientos y lucros medianos o bajos, porque ninguna Estación Experimental puede hacer milagros. Cuanto más caro es el fertilizante, tanto más necesaria su eficiencia máxima, y ésta depende del interés o desinterés del propio productor.

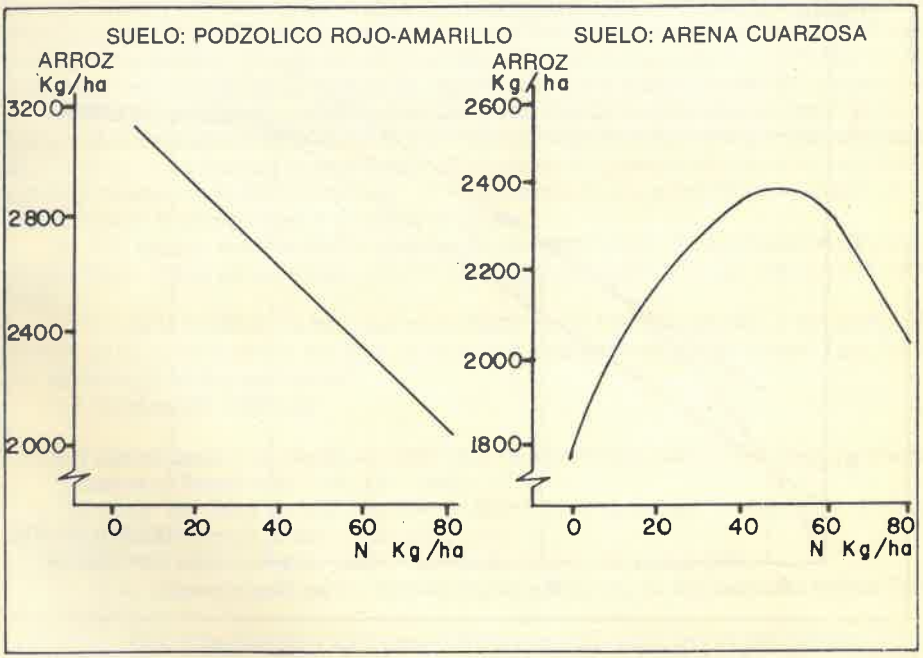


Fig. 8.22 *Efecto de la fertilizacioón de una variedad de arroz en dos suelos diferentes (***Carneiro Freitas,** *1973).*

Resumen

La fertilización no puede ser hecha siguiendo un patrón general.

Cada variedad reacciona en forma diferente y el potencial de absorción no puede ser aumentado mediante una fertilización mayor, porque es específico a la variedad. Y cada suelo responde según la cantidad de los otros nutrientes que posee.

El efecto de la fertilización indiscriminada, de cualquier variedad en cualquier suelo, está condenado a oscilaciones muy grandes, y muchas veces, al fracaso. Es un juego de azar y no una técnica agrícola. De una técnica se espera que siempre dé lucro.

Verificamos que la segunda parcela del fertilizante (A_2) promovió un aumento considerable de rendimiento y, por lo tanto, es económica. La tangente de la curva del aumento de rendimiento, que al mismo tiempo es la paralela a la línea que liga el punto cero con el aumento máximo de rendimiento del cultivo, indica el punto a partir del cual la fertilización se vuelve antieconómica. Mientras la segunda parcela de fertilizante elevó la cosecha proporcionalmente al fertilizante aplicado, la tercera parcela (A_3) la aumentó en menos de la mitad. El fertilizante para este aumento cuesta más del doble en relación a la unidad producida por la segunda parcela.

Cuando la producción por unidad de fertilizante es alta, su precio será relativamente bajo. Por ejemplo, si con 1 t/ha de NPK producimos 10 t/ha de batatas, la fertilización saldrá cara. Si conseguimos producir 30 t/ha, se permitirá un lucro adecuado y el precio será un factor relativamente secundario. Si con 600 kg/ha de NPK producimos 3 t/ha de maíz, el precio del fertilizante ya supera el precio de la producción. El productor no pagará

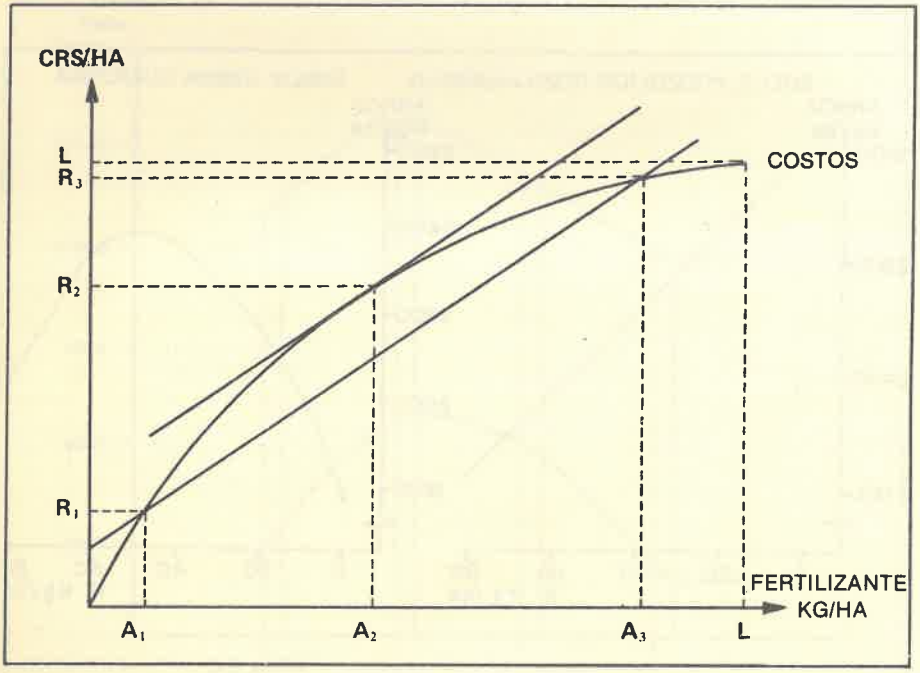


Fig. 8.23 *Rentabilidad de la fertilización.*

R_1 = rentabilidad mínima; R_2 = rentabilidad máxima; R_3 = límite de rentabilidad; L = producción máxima del cultivo.

más sus servicios ni recibirá los intereses sobre el dinero detenido en su tierra. Consecuentemente vivirá en la miseria, aunque su producción se haya duplicado en relación al campo no fertilizado. Pero si este fertilizante posibilita la cosecha de 9,0 a 12,0 t/ha de maíz, lo que es absolutamente posible en el clima tropical, se garantiza un buen lucro al productor, aun con un precio del maíz sin aumento. La pregunta es: ¿cuánto puedo producir gracias al fertilizante? Y la fórmula bruta para saberlo es:

rendimiento con fertilizante – rendimiento sin fertilizante =
producción (neta) conseguida con el fertilizante.

Por ejemplo: sin fertilizante recogemos 800 kg/ha de trigo, y con 400 kg/ha de NPK conseguimos 1.350 kg/ha de trigo. El aumento es de 550 kg/ha. El costo del fertilizante fue de Cr$ 1.200,00 y el de la aplicación fue Cr$ 35,00, completando un total de Cr$ 1.235,00. El precio alcanzado por el trigo producido es de Cr$ 779,00, lo que muestra un perjuicio de Cr$ 456,00. A pesar de haber obtenido una cosecha mayor, el productor perdió dinero.

Si plantamos arroz de secano sin fertilizante, los gastos serán aproximadamente Cr$ 900,00 por hectárea, y la cosecha de 1.500 kg a Cr$ 1.000,00 por tonelada dará un lucro de Cr$ 600,00. Pero si resolvemos plantar arroz irrigado, con dos elevaciones de agua, con fertilizante, el costo de la labranza será de Cr$ 4.120,00. Aun recogiendo 3.700 kg/ha, que sería una cosecha media y representaría un aumento del 25 % en la producción, perderíamos dinero, porque el valor de la cosecha sería solamente de Cr$ 3.700,00 contra los Cr$ 4.120,00 gastados.

Por eso actualmente existen agricultores con buena producción y ventas voluminosas, pero que viven en la miseria, no consiguiendo salir de los préstamos, intereses y deudas. De esta situación tan desalentadora resulta que no se trata más de fertilizar o mejorar las técnicas para la producción de alimentos, sino que se concentra la fertilización especialmente en los cultivos de exportación, como caña de azúcar, café, cacao y algodón, cuyos precios se benefician por las facilidades de exportación y por los precios en el mercado mundial (estos datos están referidos a Brasil). Es un desarrollo poco saludable para un pueblo nuevo, que conduce a un superávit en la balanza de exportación y a la miseria dentro del propio país.

Usándose fertilizante, es lógico que uno de los dos deberá ser alto: el precio de la cosecha o el de la producción. Y como es más fácil alcanzar un precio alto que una cosecha alta, pocos cuidan aumentar la producción. El resultado es: ¡hambre en los países exportadores de productos agrícolas y pecuarios! ¡Y no hay duda de que el hambre es el mayor impedimento para la prosperidad y el bienestar general!

El PBI engaña mucho. Nadie pregunta lo que lo produjo. Por lo tanto, no significa prosperidad. Hasta ahora ningún pueblo consiguió sobrevivir al trato inadecuado de su suelo...

¿Por qué la fertilización hace tan poco efecto en los suelos tropicales, y por qué la eficiencia de los fertilizantes es tan baja en ellos, con rendimientos mucho menores que los de los norteamericanos y europeos?

La fertilización depende:

1. del tipo de suelo y su condición biofísica. El suelo compactado no responde satisfactoriamente al fertilizante (218, 221, 225);
2. del clima. En clima seco la reacción es diferente de la del clima húmedo, y en clima fresco, diferente de la del cálido (102, 131);
3. del pH del suelo, o mejor dicho, del estado que el pH indica (10);
   a) de la disponibilidad de los nutrientes, su equilibrio, su deficiencia o exceso (214, 235);
   b) de elementos tóxicos y su mayor o menor movilización por el fertilizante (285);
4. de la acción fisiológica del fertilizante, acidificando o alcalinizando el suelo (250);
5. de la especie y variedad vegetal plantada y su potencial de movilización, absorción y metabolización del abono (225);
6. de la relación entre el precio del fertilizante y el obtenido por la cosecha.

Cuadro 8.18 *Precio de los fertilizantes en el correr de los últimos 10 años (precio promedio ponderado)*

Año	*Arroz en cáscara* bolsas 60 kg	*Maíz* bolsas 60 kg	*Café beneficiado* bolsas 60 kg	*Soja* bolsas 60 kg	*Algodón* arrobas 25 lbs
1967	10	29	4	15	35
1970	13	25	2	11	30
1973	10	20	2	9	23
1974	17	45	4	21	41
1975*	8	21	2	12	28
1976**	9	18	1	10	12

* considerando un subsidio del 40% en los precios promedio de los fertilizantes.
**promedio del precio de fertilizantes de enero a mayo.
Fuente: *Instituto de Economía Agrícola,* octubre 1976.

En parte, aun con subsidio, el precio del fertilizante no bajó al precio de 1973. Eso significa que la eficiencia del fertilizante tiende a subir para dar lucro. Y la mejor manera de aumentar esta eficiencia es mediante el mejoramiento de las condiciones biofísicas del suelo y del equilibrio de los nutrientes entre sí.

La deficiencia de nitrógeno es la que más fácilmente se manifiesta, reduciendo la cosecha. Sin embargo, su aplicación indiscriminada, sin consideración de los otros nutrientes, en especial fósforo, es absolutamente desaconsejable. En la figura 8-24 se muestra el efecto de la adición de nitrógeno a una solución nutritiva "pobre", que es una solución normal 50 veces diluida. A la izquierda una planta en solución nutritiva normal con omisión de K; en el centro, una planta con omisión de N. La planta muestra la decoloración típica de las hojas y es menor que la deficiente en potasio. A la derecha, una planta en solución nutritiva 50 veces diluida con adición de nitrógeno, que causó la muerte del vegetal. Esto se explica por la absorción elevada de nitrógeno, del cual la planta está sedienta, pero su metabolización se imposibilita debido a la deficiencia de fósforo y de otros nutrientes. El nitrógeno continúa circulando en la savia, tornándose tóxica su concentración.

En la figura 1-13 se mostró que una solución nutritiva 50 veces diluida es capaz de dar una planta sana, de modo que el problema no era la pobreza de la solución sino el exceso unilateral de nitrógeno.

EL CLIMA Y LA ABSORCION DE NUTRIENTES

Después de la estación de las lluvias, el suelo está lixiviado, empobrecido, especialmente en nitrógeno, potasio, calcio y boro. Para una plantación que sigue luego de esta estación se deberá considerar una fertilización mayor (203). Las precipitaciones durante 24 horas consecutivas lavan un 30 a un 40 % de los elementos absorbidos de las hojas nuevas, principalmente durante temperaturas bajas, como ocurre en invierno en Rio Grande do Sul (285). En las hojas viejas la lixiviación alcanza hasta un 80 a 90 % de los cationes y aniones. Se pierde especialmente calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y aminoácidos, lo que hace a las plantas más susceptibles a las enfermedades (284), ya que las bacterias y hongos siempre atacan los tejidos débiles. Pero los productos como proteínas, ácidos grasos y almidones no son afectados. Esto significa que cuanto más rápida es la metabolización, tanto menor es la lixiviación por lluvias persistentes.

La velocidad de metabolización depende de la presencia de suficiente oxígeno en el suelo y de las enzimas catalizadoras (182), que a su vez dependen, en su mayoría, de micro-

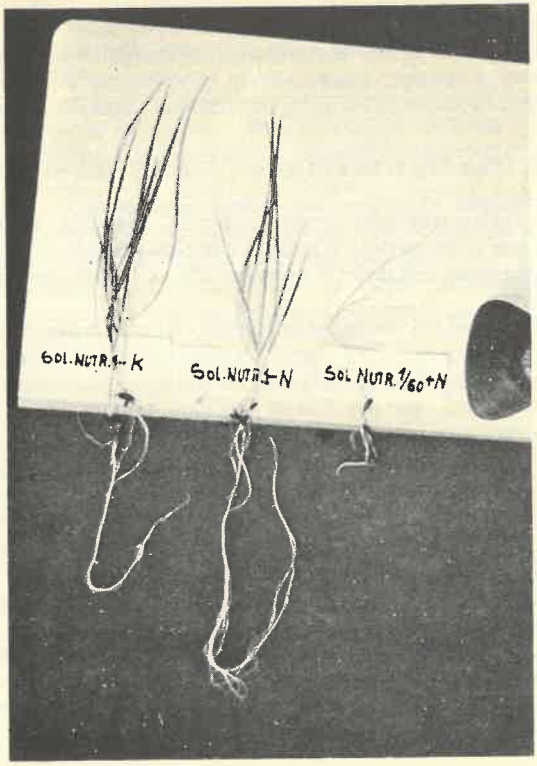


Fig. 8.24 *La deficiencia de un elemento en una solución bien provista de los restantes nutrientes es menos perjudicial que la adición de un nutriente, en este caso N, a una solución pobre.*

nutrientes. En suelos con bioestructura intacta y en cultivos provistos de todos los microelementos esenciales a los mismos, el efecto desfavorable de lluvias prolongadas es menor.

En la estación seca, generalmente el suelo se enriquece con los elementos que la lluvia filtró para capas inferiores y que ahora suben nuevamente a la superficie. De esta forma se constata un aumento de nitrógeno, potasio y boro (203), posibilitando un crecimiento explosivo al comienzo de las lluvias en todas las zonas tropicales. Si el suelo no está sembrado, sólo arado, cuando se inician las lluvias, todos los nutrientes que se acumularon en la capa superficial durante la sequía serán nuevamente lixiviados en las primeras 6 semanas de aguas. La cantidad de fertilizante que se necesita para la plantación en primavera depende del cultivo y del suelo, así como de la época de plantación. Ella debe ser mayor en las plantaciones que se realicen tardíamente en la época. Las plantaciones efectuadas en la época correcta necesitan menos fertilizantes pues las raíces interceptan los nutrientes llevados por el agua de infiltración.

En clima seco, donde hay suelos salinos y alcalinos, como en el "polígono de las secas", la fertilización baja fácilmente el rendimiento del cultivo porque aumenta la concentración de sales en el suelo, y con eso, la presión osmótica del suelo, que ya estaba al límite de lo tolerable. Las plantas no consiguen más absorber el agua suficiente y los nutrientes necesarios contra el gradiente de la presión, y las cosechas bajan (cuadros 9-40 y 9-41).

En estos casos límites, la fertilización que tendía a mejorar deficiencias minerales, las agravó para la planta, a pesar de existir los nutrientes en el suelo. Cuanto más bajas son las

temperaturas, tanto mayor debe ser el pH para garantizar una buena absorción de nutrientes (282), encontrando su punto óptimo en el pH neutro.

En todos los casos se consigue una mejor absorción cuando el suelo tiene su bioestructura adecuada. Y ésta se consigue incorporando superficialmente materia orgánica junto con 500 kg/ha de termofosfato, escoria o fosforita (ver capítulo 4).

EDIFICACION DE UNA MAYOR PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

Muchos de los suelos tropicales poseen una CTC reducida, un pH bajo, una capa arable más arenosa que el subsuelo y una capa compactada inmediatamente debajo de la superficie. En consecuencia, son de baja productividad y de deficiente reacción a la fertilización.

Es posible modificar el pH mediante la adición de materia orgánica y de un encalado. Con eso también se modifica la CTC y el suelo se vuelve capaz de mantener mayor cantidad de nutrientes en forma disponible. Reduciendo los trabajos que remueven el suelo y evitando fertilizantes amoniacales, que son fuertes biocidas, se consigue el restablecimiento de una fauna edáfica activa, que remueve el suelo transportando la arcilla salida de la superficie, nuevamente a la capa arable. Pero no es posible querer "llenar" un suelo de baja CTC con nutrientes hidrosolubles, especialmente con potasio y fósforo. Un tenor elevado de potasio soluble baja la absorción de magnesio y calcio, y con ello, la cosecha (121). En cada fertilización deben ser considerados los efectos colaterales de los nutrientes (119). De esta manera, cada suelo posee su "nivel crítico" de nutrientes que se purifica por la "calibración". Mientras se aumentan los elementos deficientes, aumenta la producción, siempre que la absorción esté garantizada.

Es importante tener en cuenta que cantidades pequeñas de fertilizantes reducen la cosecha, y no es prudente restringir las cantidades recomendadas de abono para hacer economía. Tampoco cantidades muy elevadas tienen efecto positivo o compensador (fig. 8-25).

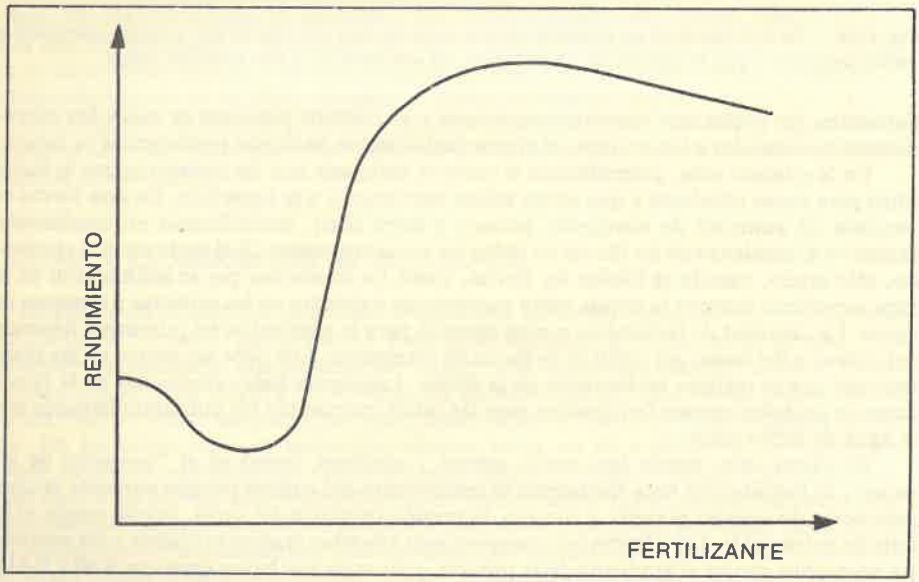


Fig. 8.25 *Efecto del fertilizante sobre el rendimiento.*

Pero cuando se sobrepasa el nivel crítico en que todos los elementos se encuentran en equilibrio, el fertilizante ya no consigue aumentar la cosecha por constituir un exceso. De ahí en adelante la producción desciende (36, 50, 79) del mismo modo que si recibiera dosis muy pequeñas de fertilizante.

En la "edificación" de la fertilidad se aumenta el complejo de cambio, fertilizando en seguida con todos los nutrientes, inclusive micronutrientes, para mantener el equilibrio que era característico a ese suelo. Los abonos poco solubles en agua son los más adecuados para este fin.

Mediante la fertilización se puede aumentar o destruir la fertilidad de un suelo (260). Por eso **Voisin** (1966) dijo: *"¡El fertilizante es un instrumento maravilloso cuando está bien aplicado, y un grave peligro cuando está mal utilizado!"*

Las variedades de alta productividad responden mejor a la fertilización. Pero cuando hay una deficiencia mineral, también son las que experimentan el mayor quebranto en rendimiento (189), pues la deficiencia baja la fotosíntesis, y con eso, la producción (54). Con la reducción de la cantidad también disminuye la calidad del producto. En la figura 8-26 se esquematiza la pérdida de la bioestructura debido al cultivo (ver capítulo 7). El volumen de suelo explorado por la raíz disminuye. En parte, también se pierden los micronutrientes debido a la absorción forzada en presencia de NPK acrecentado. Se compensa el menor volumen de suelo explorado por la raíz mediante una concentración mayor de nutrientes, fertilizándose cada vez con mayores cantidades (35). La bioestructura continúa decayendo y se gastan los micronutrientes del reducido espacio explorado por la raíz. Faltan oxígeno y activadores de enzimas, los micronutrientes y las cosechas bajan a pesar del aumento de las fertilizaciones. No es que la fertilización con NPK y el encalado eran innecesarios. ¡Son muy necesarios! Pero no son los únicos factores de producción. Ya **Boussingault** (1885) y más tarde **Voisin** (1966) claman por la restitución de todos los elementos perdidos del suelo, de los macro y micronutrientes, de los minerales retirados por la planta, lixiviados por la

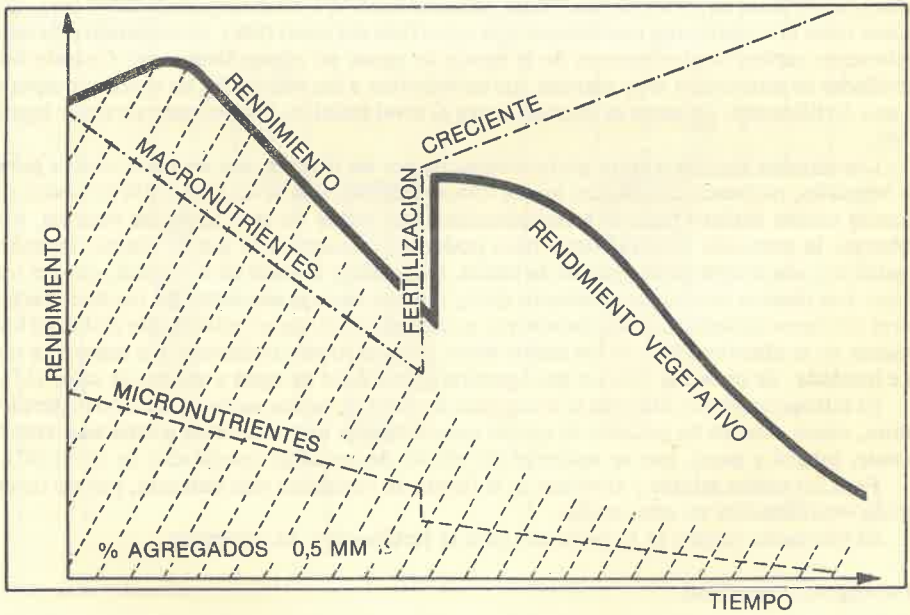


Fig. 8.26 *Disminución de eficiencia de la fertilización comercial por el tiempo de uso del suelo y los factores responsables.*

lluvia o arrastrados por la erosión. A mayor producción vegetal, mayor remoción de nutrientes (296). Una cantidad mayor de nitrógeno absorbida por la planta necesita de una cantidad mayor de cobre; más potasio sustraído exige igualmente más boro y magnesio; más fósforo exige más cinc y hierro, y más calcio exige más manganeso. No importa cuál es el elemento absorbido, siempre se necesita oxígeno en el suelo, y éste no se consigue introducir si no es por medio de una buena aireación. Y para ello se necesita una bioestructura poderosa, que permita la circulación de aire (242).

LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS PRINCIPALES Y SUS INTERRELACIONES

El nitrógeno

El nitrógeno no es mineral. Llega al suelo a través del aire o por la fertilización. Las lluvias tropicales pueden acrecentar al suelo hasta 50 kg/ha de nitrógeno por año (126, 279). Las arcillas tropicales absorben amonio (NH_3) (103, 159), y especialmente los suelos de arroz irrigado pueden fijar mucho nitrógeno en presencia de luz a través de algas (267).

La materia orgánica promueve la fijación de nitrógeno, ya sea por medio biológico o fotoquímico (59) o por simple absorción de aire (48). La fijación biológica por microorganismos de vida libre es mucho mayor de lo que se suponía años atrás. Es de un mínimo de 40 kg/ha/año, y es mucho mayor aún en presencia de luz (13, 60, 61). El nitrógeno atmosférico se oxida inmediatamente y pasa a NO_3 por bacterias.

La fijación de nitrógeno por microorganismos simbióticos o noduladores es importante no sólo en las leguminosas, sino también en no leguminosas, y alcanza un mínimo de 20 kg/ha/año de N_2.

El nitrógeno nítrico

El nitrógeno nítrico (NO_3^-) es fácilmente lixiviado por el agua de lluvia (201). Cuando el suelo superficial es pobre, la raíz podrá buscarlo hasta a 1,80 m de profundidad (91). En épocas secas el nitrato sube nuevamente a la superficie del suelo (84a), provocando el reverdecimiento explosivo al comienzo de la época de aguas en climas tropicales. Cuando las cantidades de nitrato son muy grandes, aproximándose a los 160 kg/ha, en especial después de una fertilización, en parte es lixiviado para el nivel freático, apareciendo en ríos y lagos (150).

Los nitratos son absorbidos preferentemente por las plantas, por ser poco tóxicos para los vegetales, pudiendo circular en mayor concentración en la savia (108). Por lo tanto, se necesita menos fósforo para su metabolización, que puede ser más lenta. Se necesita, sin embargo, la presencia de molibdeno para poder ser metabolizado por la planta. Permite igualmente una mayor acumulación de calcio, magnesio y potasio en el vegetal, por ser un anión. Las plantas nutridas con nitratos (NO_3^-) tienen ventaja absoluta. En los suelos activos el nitrógeno amoniacal inmediatamente es oxidado a nitrógeno nítrico. Sin embargo los nitratos no se absorben bien de los suelos secos, porque suben totalmente a la superficie seca e insolada, de donde la raíz no puede retirarlo por falta de agua y exceso de calor (37).

El nitrógeno nítrico bloquea la absorción de cloro de suelos salinos así como de fertilizantes, como cloruro de potasio, lo que es especialmente importante en solanáceas, como tomate, tabaco y papa, que se resienten del efecto de pequeñas cantidades de cloro (97).

Para los suelos salinos y alcalinos es la forma de nitrógeno más indicada, por no tener rápida volatilización en este medio.

El nitrógeno nítrico es lo indicado para la fertilización en cobertura.

El nitrógeno amoniacal

En Brasil el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) es lo más común en la fertilización, siendo usado en forma de sulfato de amonio. La planta lo absorbe, pero una concentración me-

diana ya es tóxica para la misma. Exige, pues, una metabolización muy rápida para evitar una acumulación en la savia vegetal. Para eso se necesita mucho más fósforo (57) que para el nitrógeno nítrico, especialmente porque el amonio pesa en la balanza de los iones de carga positiva. Por lo tanto, descoloca los cationes como potasio y calcio y torna muy precario al metabolismo vegetal. También es la razón por la que generalmente aumenta la susceptibilidad de las plantas a enfermedades fúngicas. No disminuye sólo la resistencia de las plantas por la menor absorción de K^+ y Ca^{++}, igualmente baja un 40 % el tenor en fenoles de la hoja. Los fenoles se consideran poderosos fungistáticos (28).

Cuanto mayor es la fertilización, tanto más amonio se pierde por volatilización (1a). Es especialmente fuerte en suelos alcalinos; calcio (Ca^{++}) y sodio ($Na+$) promueven su liberación. Por eso no es propio de los suelos alcalinos, a pesar de poder contribuir a su acidificación. En los suelos salinos por calcio y magnesio, su pérdida es bastante menor (190). También un encalado hace disminuir su pérdida hacia el aire, en especial en pasturas donde la fertilización está hecha en cobertura (172). En las labranzas no debe ser usado para la fertilización en cobertura, especialmente en suelos arenosos, pobres en materia orgánica, donde su volatilización es casi total.

La ventaja absoluta del $N\text{-}NH_4$ es la de ser fácilmente absorbido de suelos más secos, por no subir a la superficie y necesitar manganeso y cobre (172) para su metabolización, elementos presentes en suelos ácidos. Otra ventaja es que el sulfato de amonio acrecienta el azufre, que es muy importante para la soja, el trigo y el café.

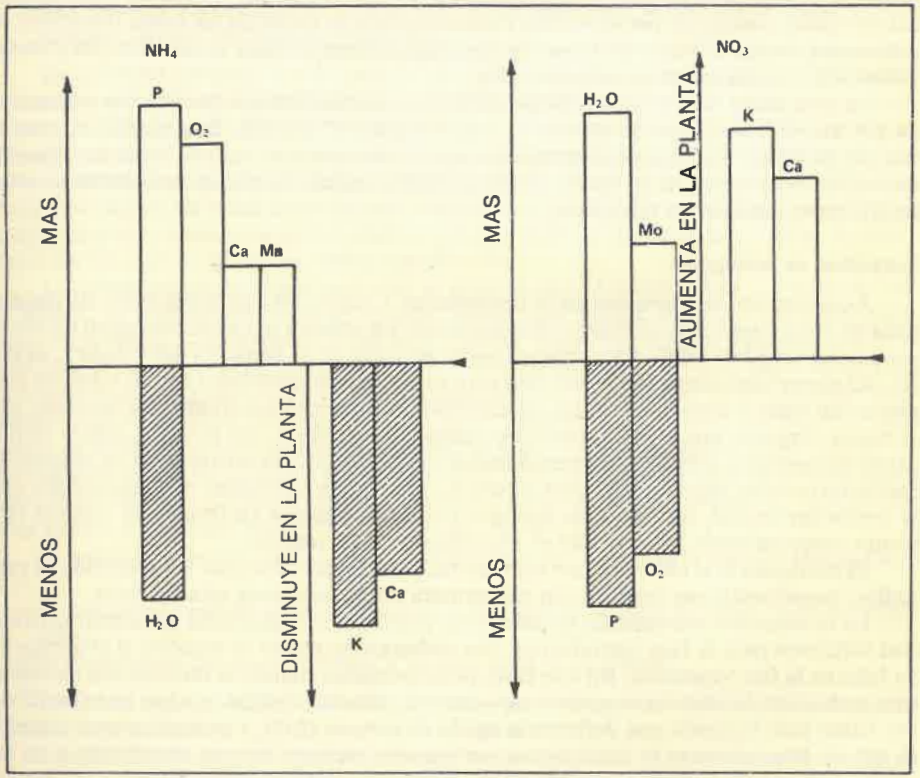


Fig. 8.27 *En la fertilización con sulfato de amonio y en la de nitrato de calcio las exigencias de las plantas son diferentes.*

Cuando falta calcio, fósforo y magnesio, el nitrógeno es absorbido por la planta, pero su metabolización es deficiente. La formación de proteínas es muy escasa, permaneciendo en forma de aminoácidos mientras parte del nitrógeno continúa circulando por la savia (211) y se pierde a través de la hoja.

Lo mismo ocurre cuando hay escasez de manganeso (295). El sulfato de amonio moviliza el manganeso, en especial en suelos ácidos, de tal modo que éste hasta puede tornarse tóxico (14). La metabolización lenta de nitrógeno amoniacal causa fácilmente su toxicidad cuando la savia vegetal es pobre en calcio (15).

Por lo tanto, una fertilización nitrogenada en suelo ácido y compactado, pobre en fósforo, calcio y manganeso, no sólo disminuye la acción benéfica del nitrógeno, sino que a veces hace que el cultivo muera, como aconteció con la avena y el "rye-grass" (*Lolium multiflorum*) en Rio Grande do Sul, que se secaron después de la aplicación de sulfato de amonio en suelos muy pobres.

El efecto benéfico de una fertilización nitrogenada puede fallar por falta de elementos para su rápida metabolización.

La figura 8-27 muestra que la fertilización con sulfato de amonio aumenta la necesidad de fósforo de la planta, disminuyendo la posibilidad de la absorción de calcio y potasio; la de nitrato de calcio disminuye la necesidad de fósforo, aumentando la absorción de potasio y calcio. Por eso, en la fertilización amoniacal las plantas se vuelven menos resistentes al frío (184), a la sequía y a las pestes (216, 233).

En suelos activos, donde existe la nitrificación rápida del amonio, el efecto de una fertilización nitrogenada siempre está garantizado. El efecto ausente, deficiente o perjudicial del nitrógeno amoniacal que se verifica frecuentemente en suelos de las zonas tropicales, es justamente debido al hecho de faltar los elementos necesarios para su nitrificación y metabolización, especialmente el oxígeno (259).

La urea libera NH_2 en su descomposición, que se volatiliza con facilidad en suelos con un pH mayor que 6,5, en temperaturas mayores que 19° C (229). Esta pérdida es mayor cuando las brisas son más persistentes. En suelos arenosos, sin materia orgánica, simplemente no tiene efecto ni en época de sequía (293), cuando la planta necesitaría de concentraciones mayores de nitrógeno.

Necesidad de nitrógeno

Aumenta con la intensidad de la iluminación. Cuanto más distantes están las plantas unas de otras, tanto más nitrógeno ellas necesitan. La sombra reduce la necesidad de nitrógeno hasta un 50 % (308). Esta sombra puede provenir de la densidad del "stand", es decir, del menor espaciamiento. Pero, por otra parte, un espaciamiento menor significa una población vegetal mayor, y con eso, la cantidad de nitrógeno absorbida será idéntica, por el mayor consumo por mayor número de plantas. No significa, por lo tanto, menos fertilizante nitrogenado, pero sí un aumento menor de la fertilización nitrogenada en relación al fósforo o potasio, calcio y magnesio. Como la cantidad de fertilizante está relacionada con la población vegetal, un exceso de nitrógeno puede producirse fácilmente en cultivos con menor espaciamiento, provocando el abatimiento de las plantas.

El nitrógeno es el elemento que primero falta en épocas de sequía. Su absorción se perjudica, necesitando una fertilización mayor para contrabalancear esta carencia.

La fertilización nitrogenada en cobertura, común en cereales, debe garantizar la cantidad suficiente para la fase reproductiva. Sin embargo, su efecto es negativo si el nitrógeno ya faltó en la fase vegetativa. En este caso, principalmente cuando la fertilización en cobertura es masiva, la cosecha en granos no aumenta. Muchas espigas quedan estériles (276), por haber sido inducida una deficiencia aguda de potasio (155), y probablemente también de calcio. Muchas veces la fertilización por parcelas no surte ningún efecto (94), y en los suelos grumosos, con bioestructura intacta, por lo general no se necesita.

Llamamos la atención al hecho de que: *cualquier deficiencia mineral que impide la formación de proteínas equivale a una deficiencia de nitrógeno para el vegetal.* Así por

ejemplo la falta de cromo provoca una carencia de nitrógeno en árboles noduladores que no son de la familia de las leguminosas, como el *Alnus*. Lo mismo sucede con la falta de azufre, cinc, manganeso, hierro y otros.

La eficiencia de una fertilización nitrogenada únicamente está garantizada cuando no existe otra carencia mineral en el suelo y cuando su metabolización completa está asegurada.

Manejo del nitrógeno en el suelo

La temperatura es uno de los factores más importantes en la absorción del nitrógeno, lo mismo que el agua y el oxígeno (13). A mayor temperatura, más rápida es la absorción, hasta que el agua se torna el factor limitante.

Se exige la protección del suelo contra temperaturas muy elevadas y contra la pérdida excesiva de agua en las épocas más secas. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico es muy alta en los suelos con materia orgánica y el suficiente calcio y fósforo (170, 241). Pero la fertilización nitrogenada impide la fijación de N_2 atmosférico.

Aproximadamente el 50 % del nitrógeno fertilizado no se aprovecha (259) porque:

a) escapa hacia el aire o es lixiviado,
b) la raíz no lo alcanza debido a la compactación,
c) la sequía, con su falta de agua, impide la absorción,
d) falta fósforo, y en menor escala otros nutrientes para su metabolización,
e) hay elevada concentración de aluminio en el subsuelo, constituyendo una barrera química para el crecimiento radicular.

Es un hecho conocido que el valor de nitrógeno en el suelo y en la planta no se correlaciona bien con el rendimiento del cultivo. **Primavesi** (231) verificó que los valores altos de N-total en la hoja rara vez indican cosechas altas. En un análisis detallado de las formas de nitrógeno (nitrito, nitrato y amoniacal), y en la comparación de análisis de la savia y del N-total del tejido, puede ser constatado que los niveles elevados de N frecuentemente coinciden con niveles elevados de nitrógeno circulando en la savia, lo que indica una deficiente metabolización. Generalmente las plantas con crecimiento rápido acusan niveles medios a bajos de nitrógeno, debido al "efecto de dilución".

Los niveles altos de N en el suelo por lo general coinciden con niveles elevados de N en la planta, lo que comúnmente se supone. Suelo rico, planta rica. Sin embargo, como muestra la figura 8-28, éstos no garantizan cosechas altas. Los análisis muestran que en la época de la espigazón los niveles de N en el suelo y en las hojas eran más bajos en los lotes que luego darían las cosechas mayores. La explicación es la siguiente: las plantas con crecimiento rápido absorben más nitrógeno del suelo, dejándolo más pobre; por lo tanto, en la época de la formación de espigas en el maíz, el bajo nivel de nitrógeno puede indicar un suelo pobre o también una muy buena absorción. Y los niveles más bajos de N en la planta pueden indicar una nutrición insuficiente, como también pueden indicar un crecimiento muy rápido y vigoroso, siendo el resultado del "efecto de dilución".

El análisis del tejido vegetal sólo puede dar información sobre la cosecha futura cuando:

a) es comparada con el análisis de la savia, pudiéndose extraer el índice de metabolización,
b) es comparada con el crecimiento y el peso total de la planta.

De modo que los valores obtenidos son valores relativos, necesitándose más datos para su interpretación.

Las semillas de oleaginosas como lino, ricino, soja, etc., se ven influenciadas por la fertilización nitrogenada. Necesitan de nitrógeno como cualquier otra planta para su desenvolvimiento vegetativo, pero con el aumento de la dosis de nitrógeno disminuye el tenor

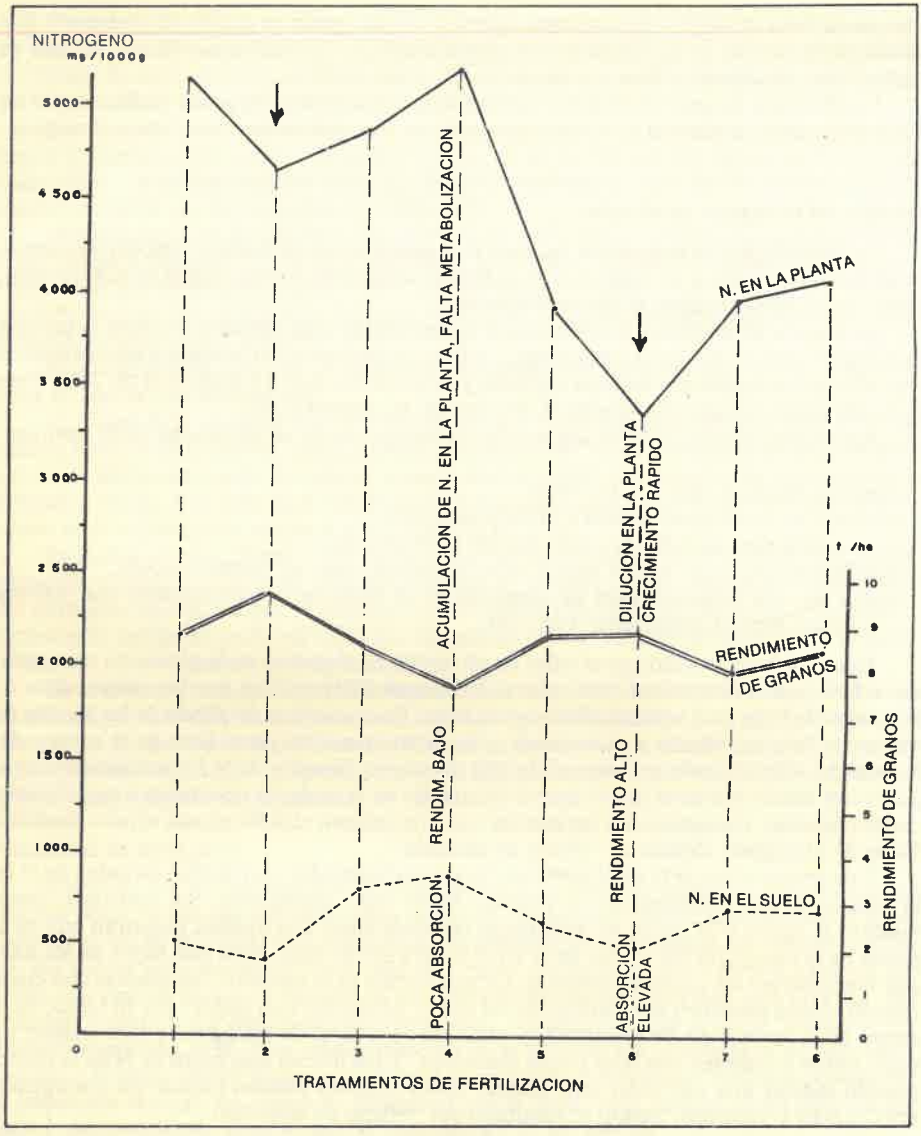


Fig. 8.28 *La producción de maíz y los niveles de N en la planta y en el suelo, en la época de la espigazón.*

de aceite y aumenta el de proteínas (172), como se puede observar en la figura 8-29. Tiene su relación en el funcionamiento del "ciclo de Krebs".

De esto se puede sacar en conclusión que la fertilización nitrogenada debe atender la finalidad de la producción.

La figura 8-29 muestra que con el aumento de la dosis de nitrógeno disminuye el tenor en aceite, pero aumenta el de proteínas en las semillas. La fertilización debe ser diferente

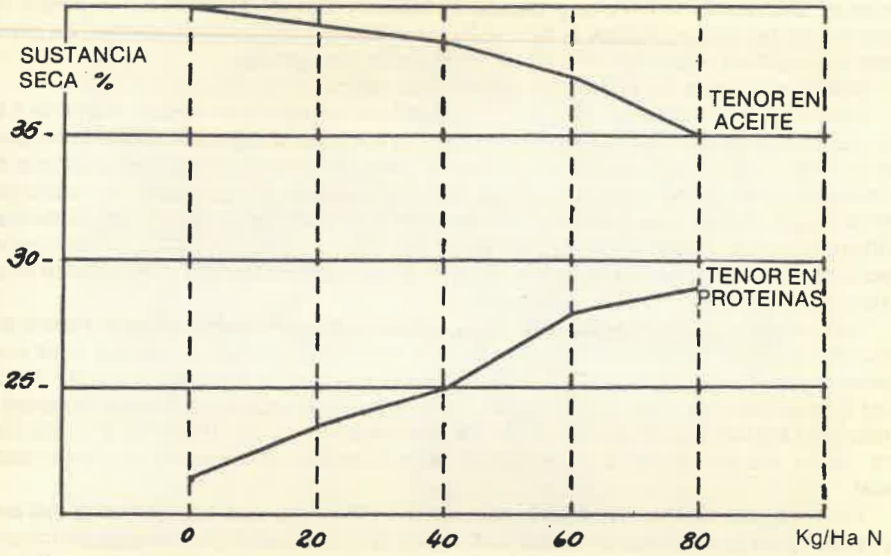


Fig. 8.29 *Producción de aceite o de proteínas por la semilla de lino, según el nitrógeno disponible* (**Mengel**, *1965*).

para las plantas que deben producir aceites, como el lino, el ricino, el sésamo, etc., o para plantas que deben producir proteínas, como maíz, trigo y avena.

Bartholomew (1972) dice: "las técnicas de uso de suelos de las zonas templadas son muy arriesgadas en las zonas tropicales".

Una revisión de los resultados de la fertilización nitrogenada en las regiones tropicales muestra lo siguiente:

Maíz: no responde al nitrógeno en campos recién desmontados ni suelos intensamente usados (85). En los primeros años de uso no falta el nitrógeno en el suelo, y en los suelos viejos de cultivo el empobrecimiento en otros nutrientes y las compactaciones impiden el efecto del nitrógeno. También el agua estancada, que induce a la falta de oxígeno en el suelo, o la falta de agua en épocas secas impiden la respuesta a esta fertilización (286). Recubrir la urea con azufre raramente es ventajoso (51).

Arroz: responde casi siempre al nitrógeno. En el arroz irrigado la respuesta depende casi siempre de la variedad y del manejo del agua. Aquí, entre 30 y 60 kg de nitrógeno son suficientes para conseguir cosechas máximas (39, 134, 195, 196, 197, 210).

En el arroz-de-secano en Brasil, Perú y México, las cantidades óptimas oscilan entre 120 y 160 kg/ha de nitrógeno (247, 253, 261, 290), debido a su baja eficiencia. En América Latina la fertilización en etapas a veces tiene ventajas (120, 244), mientras que en Asia nunca es ventajosa. Esto se atribuye a la mejor conservación de la bioestructura del suelo asiático y de su menor dispersión debido a las prácticas culturales (de cultivos) que están dirigidas a aumentar la materia orgánica.

Trigo: existe una estrecha interacción entre la humedad y la eficiencia del nitrógeno, ya que ningún nutriente puede ser absorbido de un suelo seco (142). El nitrógeno provoca fácilmente el vuelco del trigo y propicia las enfermedades fúngicas. Siempre hay interacción positiva con el fósforo (244). En Brasil la eficiencia del nitrógeno es baja (127).

Mandioca: a pesar de extraerse de 60 a 200 kg/ha de nitrógeno con cada cosecha, raramente responde a una fertilización nitrogenada en suelos tropicales (192, 193), y cuando

responde, únicamente lo hace en presencia de fósforo. Cuando el nitrógeno es puesto en contacto con las estacas, reduce la brotación tanto como el vigor de las plantas. En otros países la mandioca reacciona bien a una fertilización nitrogenada.

Batata: aumentan las ramas y disminuyen las raíces.

Poroto: el efecto de la fertilización nitrogenada es pequeño y raramente responde a la inoculación con rizobacterias (298). El encalado no aumenta la respuesta al nitrógeno, más bien la disminuye, probablemente por inducir la falta de nutrientes (178), especialmente la de manganeso (91a), indispensable para la metabolización de N-amoniacal. Sin embargo, la respuesta al abono verde siempre es grande (109). Con estos datos de experiencias hechas verificamos que el problema mayor del suelo brasileño es la poca eficiencia del nitrógeno, especialmente por una escasa metabolización, que depende del fósforo y del oxígeno en el terreno tanto como de los micronutrientes.

No interesa tanto saber dónde reacciona y dónde no reacciona el nitrógeno, pero sí necesitamos observar los principios básicos para la metabolización del nitrógeno, de la cual depende su eficiencia. La necesidad de nitrógeno es grande y su eficiencia aumenta donde existe la posibilidad de la nitrificación que está supeditada al oxígeno, suficiente humedad y condiciones básicas para el desarrollo de los microorganismos nitrificadores. Por eso fósforo, calcio, materia orgánica y cobertura muerta benefician el efecto del nitrógeno amoniacal.

Del nitrógeno no sólo depende la cifra de la recolección, sino especialmente que ésta sea valiosa para la alimentación humana. Cuando la formación de proteínas es deficiente, la alimentación también lo será. Y la falta de proteínas hace que el cerebro se desarrolle menos, pudiendo llegar hasta un 20 % menor que lo normal. Con eso se reduce la capacidad mental del consumidor de estos productos, creándose mano de obra no calificada, a la manera de las abejas o las hormigas que utilizan este sistema para criar a sus operarias (81).

EL FOSFORO

La fijación del fósforo es uno de los mayores problemas de la agricultura tropical. Sin fósforo no existe crecimiento vegetal, pues es el responsable de la transferencia de energía en la síntesis de sustancias orgánicas (ver capítulo 1).

El mayor problema en los países de clima tropical es evitar que el fósforo sea fijado formando complejos poco accesibles a los vegetales. El fósforo generalmente se liga a algún compuesto del suelo y puede existir en forma de humatos, de apatita o ligado al hierro y aluminio. Cuando el suelo está intemperizado, es mayor la fijación de P. Donde la arcilla está intacta y cristalizada la fijación es menor (73, 151), mientras que los óxidos amorfos de aluminio y hierro, aluminio intercambiable y alófanos tienen un alto poder de fijación (124).

En los suelos rojizos podzolizados (Ultisoles) la fijación de fósforo puede ser tan grande como en los suelos latosólicos (Oxisoles) cuando poseen muchos óxidos amorfos (215). En los suelos arenosos de la cuenca amazónica la fijación es pequeña porque poseen reducida cantidad de óxidos hidratados (75).

Por otro lado se sabe que en un pH arriba de 5,5 (74) disminuye la fijación del fósforo por aluminio (125) y hierro (3, 274, 306), lo que sugirió la corrección del suelo por el encalado. Pero se comprobó que un encalado raramente es capaz de movilizar el fósforo no asimilable del suelo, aunque puede mejorar la absorción de una fertilización fosfatada posterior. Los encalados masivos, como son aconsejados por el método SMP, a pesar de neutralizar el suelo, no movilizan el fósforo ni lo mantienen disponible (11).

La idea de "saturar" el suelo con fósforo, divulgada por **Vageler** (1933) es antieconómica aunque sea posible:

Se destacan tres puntos básicos en el problema de la disponibilidad del fósforo:

1. el pH del suelo debe estar encima de 5,5 para que el fósforo permanezca disponible,

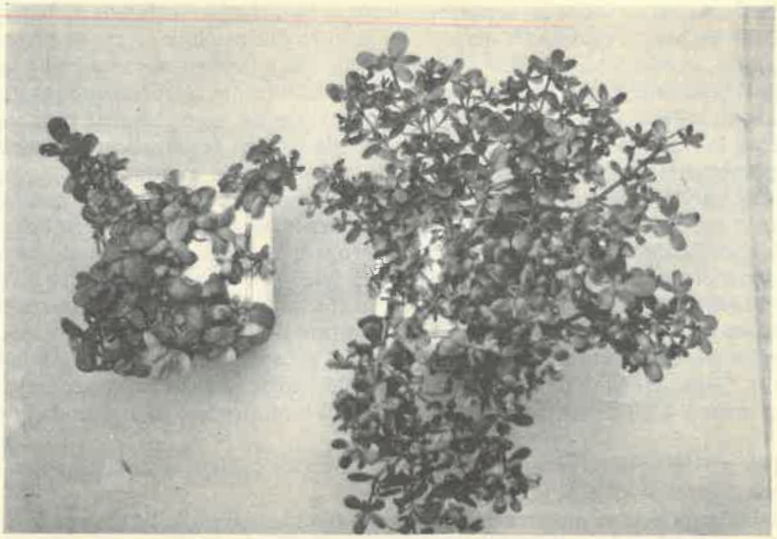


Fig. 8.30 *Maní: izq.: sin fósforo, der.: con fósforo (gentileza de* **H. C. Harris***).*

Fig. 8.31 *Soja fertilizada con fosfato.*

2. no pueden existir procesos de reducción en el suelo, o sea, el suelo debe ser aireado,
3. la microvida debe ser capaz de movilizar fósforo de combinaciones con aluminio y hierro, siendo las bacterias más activas productoras de ácidos. De esto se puede sacar en conclusión que un suelo debe tener bioestructura grumosa (aireación) y suficiente materia orgánica y calcio, para garantizar un abastecimiento normal de las plantas con fósforo.

Prácticamente en todos los suelos brasileños la fertilización fosfatada aumenta la recolección. Sin embargo, cantidades mayores de fósforo hidrosoluble, como se presenta en el superfosfato, pueden causar la depresión de la cosecha en variedades sensibles a la falta de cinc (206). Se aconseja, por lo tanto, adicionar al fertilizante fosfórico sulfato u óxido de cinc, cuando la cantidad de P_2O_5 sobrepasa los 100 kg/ha, especialmente para variedades sensibles a la deficiencia de cinc. En estas variedades una fertilización fosfatada mayor podrá provocar la disminución de la cosecha, cuando el cinc es omitido.

En los suelos tropicales no se aconseja usar únicamente superfosfato, que fácilmente puede ser "ligado" al suelo, por lo que los vegetales lo desaprovecharían. Se debe dar preferencia a los fosfatos poco solubles en agua pero sí en citratos, como escorias básicas, fosforitas, termofosfatos, etc. (304), cuyo efecto es bueno en suelos ácidos, pero insatisfactorio en los que recibieron un encalado previo. Su efecto residual puede ser apreciado durante aproximadamente 4 años. También el superfosfato posee un efecto residual que, a pesar de no poder ser detectado en un análisis de rutina, es capaz de aumentar el crecimiento vegetal (12). Como el efecto de los fosfatos poco hidrosolubles es lento, se aconseja usar 1/3 de superfosfato y 2/3 de fosfato natural, escorias o termofosfato de la cantidad de fósforo indicado.

El efecto del fósforo generalmente es grande en los cultivos tropicales, como se puede ver en las figuras 8-30, 8-31 y 8-32.

En la figura 8-32 se muestra una planta de soja bien cargada, fertilizada con fosfatos. Pero sólo el fósforo no puede hacer milagros, pues la época de plantación y el espaciamiento, tanto como los otros factores de producción deben ser adecuados. Por eso existen casos en los que la fertilización fosfatada no surte efecto, aun faltando fósforo en el suelo.

Muchas plantas movilizan fósforo a través de los aminoácidos excretados por las raíces y que actúan como quelantes (309), ya sea por micorrizas o por bacterias de la rizosfera. Aquí se encuadran principalmente las leguminosas como el poroto menudo *(Vignasinensis)*, el kudzú tropical *(Pueraria phaseoloides)*, guandú *(Cajanus indicus)* y otras. Ellas son capaces de movilizar fósforo para el cultivo siguiente. Otras plantas consiguen apro-

Fig. 8.32 *Soja: la carga depende tanto de la nutrición adecuada como de la insolación suficiente. Las partes sombreadas dejan caer sus flores.*

vechar fósforo ligado al hierro y aluminio, como el trigo sarraceno *(Fagopyrum esculentum)*, poroto *(Phaseolus spp.)*, nabisco *(Raphanus raphanistrum)* y otros.

En presencia de nitrógeno amoniacal, parte del fertilizante fosfórico puede volverse inaprovechable (122).

Como todos los nutrientes, también el fósforo depende de su solubilización en el agua del suelo, no pudiendo ser absorbido de un suelo seco (201). Esta agua en el suelo puede ser muy rica en ácidos orgánicos, facilitando la solubilización. La falta de humedad se presenta más temprano en los suelos arenosos y más tarde en los arcillosos (156), cuando ambos permiten una infiltración normal. El fósforo puede ser lixiviado, principalmente de los suelos arenosos (261), aunque el índice de su lixiviación sea bajo.

Siendo la cantidad de fósforo disponible escasa en gran parte de los suelos tropicales y subtropicales, constituye el fertilizante, el que en la mayoría de los casos aumenta la cosecha en los suelos brasileños (117, 264). Es más difícil dar una respuesta en cobertura, porque el fósforo se fija antes de que las raíces puedan alcanzarlo (158). En los cultivos anuales, aun cuando es enterrada, la fertilización en cobertura sólo consigue aumentar el nivel de fósforo en las hojas, pero no aumenta la cosecha (269).

También en los cafetales la fertilización fosfatada, aplicada en cobertura, tiene un efecto muy insatisfactorio, aunque la fertilización foliar tenga buen efecto sobre la cosecha.

Los fosfatos son los únicos fertilizantes que, colocados en la línea de siembra, no perjudican la germinación (123).

Sin embargo, con dosis crecientes de fósforo tienen lugar modificaciones en la disponibilidad de los micronutrientes del suelo, como se demuestra en la figura 8-33. Dosis pe-

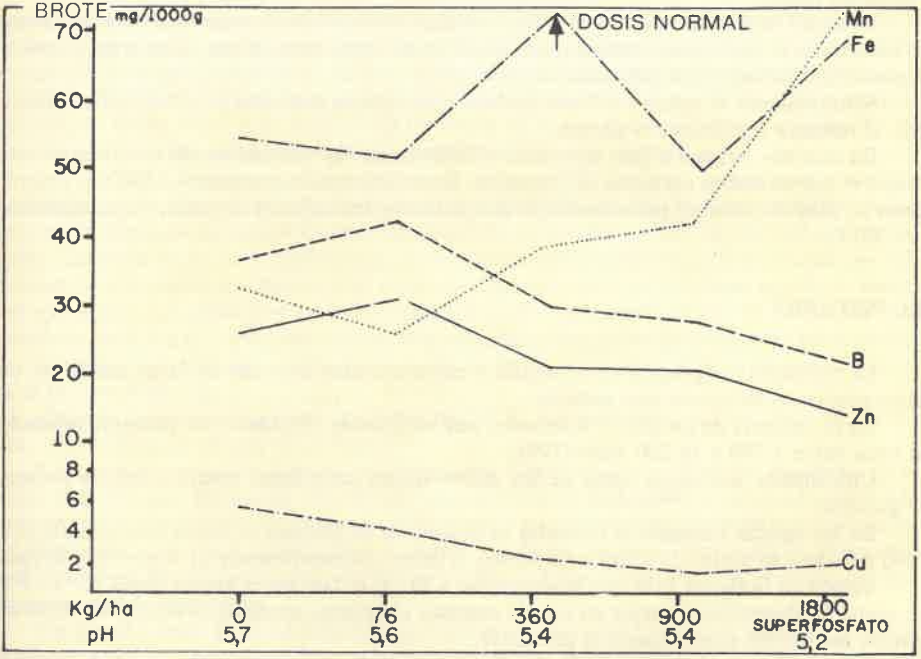


Fig. 8.33 *Absorción de micronutrientes por citrus, con aplicación creciente de superfosfato.* (**Bingham**, *1971*).

queñas de superfosfato, que están más acá de lo rentable, provocan en los citrus una absorción mayor de boro y cinc, y una disminución de la absorción de manganeso, hierro y cobre. Pero con las dosis usadas normalmente (entre 100 y 300 kg/ha), disminuyen las cantidades absorbidas de boro, cinc y cobre y aumentan las de manganeso. Con cantidades muy elevadas de superfosfato (encima de 1.000 kg/ha) aumentan los niveles de Fe y Mn rápidamente en las hojas del naranjo. Existe, entonces, la posibilidad de la limitación de eficiencia de superfosfato debido a la falta de cinc, boro y cobre o debido a la toxicidad del manganeso.

La exigencia de un poder tampón mayor parece indispensable para que tenga éxito la fertilización comercial. Y el poder tampón aumenta por la aplicación de materia orgánica y el encalado con carbonatos ($CaCO_3$) que son material tamponante.

Manejo del suelo para mantener el fósforo disponible

Existen tres puntos básicos en el manejo del fósforo:

a) el mantenimiento de un pH mayor que 5,5 y menor que 7,5;
b) la conservación de una bioestructura grumosa que permita la aireación adecuada del suelo;
c) la incorporación periódica de materia orgánica y su humificación para aumentar el poder tampón o "Buffer" y para posibilitar la ligazón del P en forma de humatos, que son disponibles a la mayoría de las plantas de cultivo (30, 217, 236, 239).

También una cobertura muerta aumenta los niveles de fósforo disponible en el suelo, y con eso, sus rendimientos (171). Los cultivos protectores o "cover-crops" no sólo protegen la estructura grumosa, sino que también movilizan nutrientes de compuestos no aprovechables (300).

La mejor manera de mantener el fósforo disponible y aumentar la eficiencia del abono es incorporarlo junto con materia orgánica seca, es decir, paja, hojas secas u otros restos orgánicos, a la superficie del suelo.

Normalmente se aplican 2/3 del fosfato a la materia orgánica y 1/3 al cultivo, junto con el restante fertilizante o abono.

En cultivos irrigados por aspersión o infiltración las cantidades de fertilizantes son mayores que en suelos agrícolas no irrigados. Especialmente son necesarios fósforo y nitrógeno en mayor cantidad para mantener la calidad de los cultivos de maíz, trigo, algodón, etc. (213).

EL POTASIO

La resistencia vegetal al frío, sequía y enfermedades depende en larga escala de un abastecimiento suficiente con potasio.

En la mayoría de los suelos brasileños hay suficientes cantidades de potasio, variando el total entre 1.780 y 14.200 ppm (199).

Unicamente una sexta parte de los suelos tienen cantidades insuficientes de potasio disponible.

En las épocas húmedas y calientes la absorción de potasio se torna muy grande (31, 104) debido a su mejor difusión en el suelo, es decir, del movimiento en dirección a la raíz.

Vemos en la figura 8-34 que la absorción a 25° C es tres veces mayor que a 15° C. Pero como la absorción es mejor en un pH cercano al neutro, se regula la absorción débil en climas templados aumentando el pH (258).

En muchos suelos brasileños la fertilización potásica no surte efecto y con frecuencia baja el rendimiento (69, 93, 118, 198, 222, 264). Este efecto negativo probablemente se deba a la absorción escasa de calcio y magnesio, en presencia de nitrógeno amoniacal. Se pro-

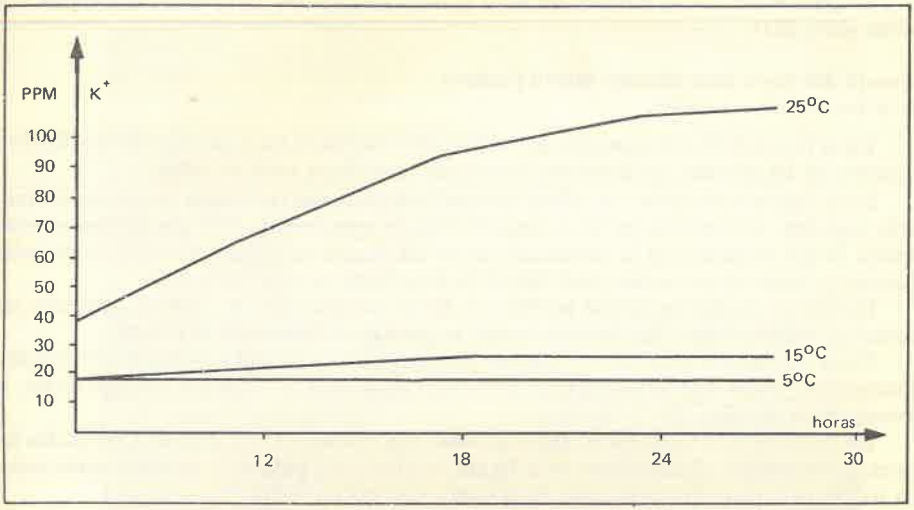


Fig. 8.34 *Efecto de la temperatura y del tiempo sobre la absorción de potasio* (**Sutliff**, *1954*).

duce un desequilibrio entre aniones y cationes que perjudica la nutrición vegetal. El mecanismo probablemente es el siguiente: hay una absorción excesiva de potasio en perjuicio de la de calcio, lo que aumenta el efecto tóxico del manganeso (47).

La absorción potásica de los suelos secos es débil (173). En este caso es más probable que su fertilización tenga reacción positiva. Así en el "cerrado" se registró un efecto positivo de potasio en algunas leguminosas, como *Stylosanthes*, mientras en otras no provocó reacción (267), dependiendo esto, tal vez, de la tolerancia de las plantas al manganeso.

Cuando el nivel de calcio es suficientemente alto, puede esperarse un efecto positivo del potasio (129). Pero si la deficiencia de calcio es fuerte puede no haber asimilación de potasio por la raíz vegetal, debilitando increíblemente a la planta (162).

La cantidad de potasio disponible en el suelo arable aumenta con la estación seca, cuando su absorción es menor y su ascenso a la superficie más intenso. Esa cantidad disminuye en la época de las aguas, cuando su absorción es mejor y su lixiviación más acentuada (204). También las bajas temperaturas, como ocurre en el invierno en Rio Grande do Sul, reducen la absorción de potasio a tal punto que puede causar una escasez aguda en suelos con pH ácido. La absorción en la estación fría aumenta cuando el pH de los suelos está alrededor de 6,0 a 6,5. Pero no sólo en el sur de Brasil hay bajas temperaturas en el invierno, también en las sierras, e inclusive pueden ser bajas en la zona ecuatorial, como ocurre en el monte Roraima.

Cuando la temperatura está alrededor de 25° C, hay gran facilidad de absorción potásica, y es suficiente un pH de 3,5 (26).

La respuesta a la fertilización potásica tiene lugar cuando el nivel del elemento en el suelo es menor que 40 mg/kg (21), la cantidad de fósforo disponible es adecuada (127) y la proporción con calcio es menor que 6 (129). Pero depende especialmente de la nitrificación del nitrógeno en el suelo, que facilita la absorción de los cationes, por pesar en el balance de los aniones. Por eso en suelos con buena ventilación y microvida activa, el efecto del fertilizante potásico es mejor.

En Brasil y Perú el arroz difícilmente responde al potasio a pesar de necesitar grandes cantidades de este elemento. La elevada cantidad de fertilizantes potásicos vendidos en Brasil se debe menos a su reacción favorable sobre el rendimiento que a la convicción de que es indispensable en una mezcla de abonos.

Se obtiene un efecto positivo de K en el maíz cuando fue fertilizado igualmente con bórax (220, 221).

Manejo del suelo para obtener efecto positivo de la fertilización potásica

En la figura 8-35 se comprueba que el potasio contribuye para un crecimiento rápido y vigoroso de las plantas, de la misma forma que contribuye para su salud.

En la figura 8-36 vemos un cafetal del cual una parte fue fertilizada con potasio y materia orgánica. Los cafetos no se quemaron durante una helada, sino que permanecieron verdes, lo que se atribuye a la viscosidad mayor del plasma celular en presencia de potasio, y consecuentemente su menor posibilidad de congelarse en una noche fría.

La otra parte de este cafetal no fue más fertilizada por falta de tiempo, debiendo ser tratada el año siguiente. Sus hojas y brotes se quemaron todos con la helada.

Este fenómeno es muy conocido en los países de clima templado, donde la fertilización potásica constituye uno de los factores esenciales para combatir la helada, mejor dicho, la consecuencia de ésta.

En la figura 8-37 se ve que el algodón reacciona fuertemente al potasio sólo en dos lugares. En el tercero, el del centro de la figura, el efecto del potasio es prácticamente nulo. En todos los lugares la dosis doble de potasio tuvo poco efecto.

Fig. 8.35 *Maíz con 6 semanas de edad en un suelo con buena bioestructura y fertilización adecuada de potasio (casi 2 m de altura).*

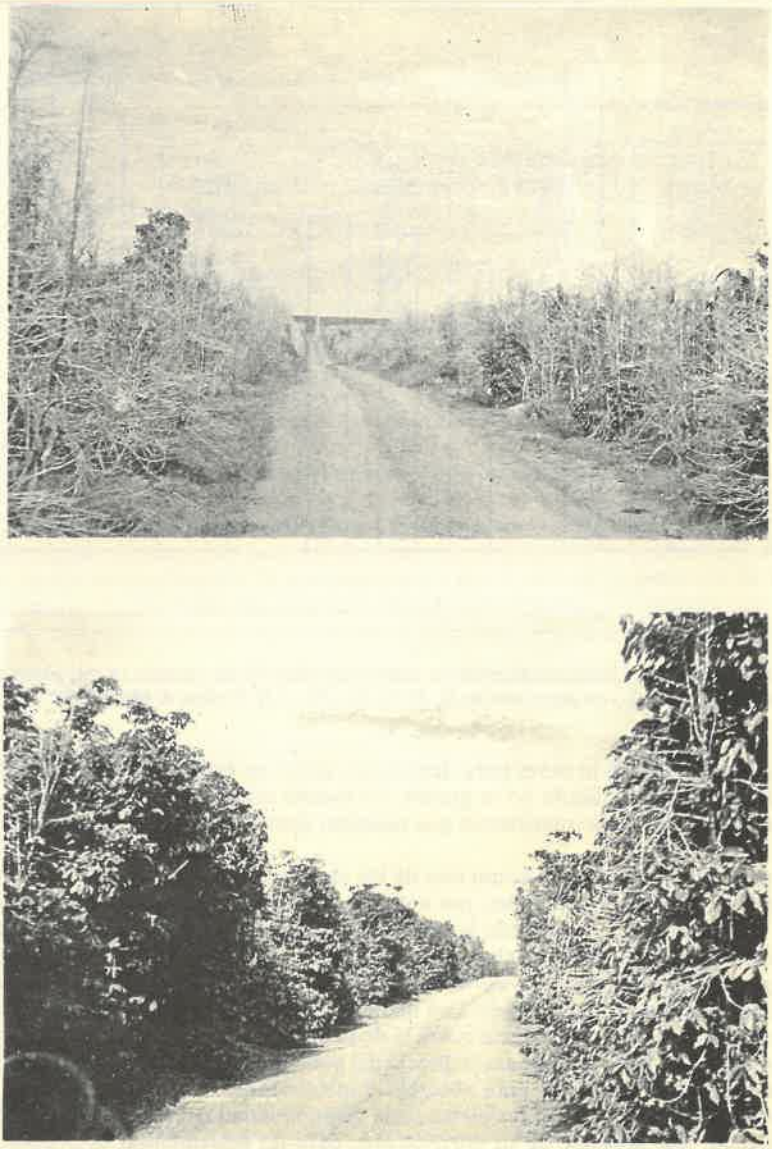


Fig. 8.36 *Arriba: cafetal quemado por la helada. Abajo: cafetal tratado con materia orgánica y fertilización potásica; la helada no la perjudicó.*

Pero hay que llamar la atención sobre el hecho de que rara vez las pruebas con uno u otro nutriente darán un buen resultado. Es mucho más correcto hacer una fertilización completa y omitir un nutriente, que juntar uno o dos elementos para verificar su efecto.

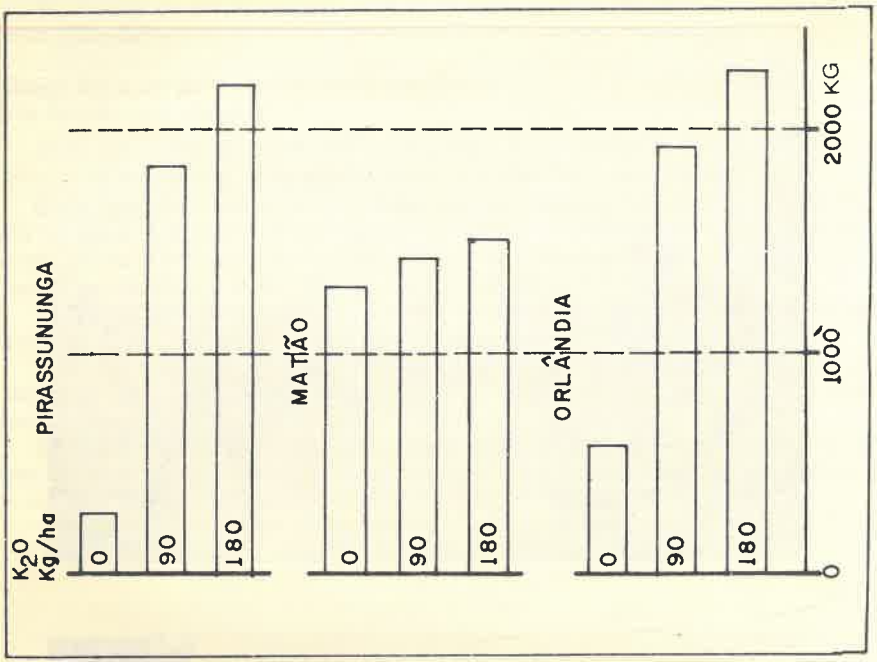


Fig. 8.37 *Efecto de la fertilización potásica sobre la producción de algodón en tres zonas diferentes del estado de São Paulo, en presencia de N, P, S, Ca, Zn, y B (***Freitas & Mikkelsen,** *1971).*

Por lo general se hacen pruebas para demostrar, como en el caso del cuadro 8-18, que el efecto de un elemento aislado no es grande. Es mucho más importante fertilizar la planta con todos los macro y micronutrientes que necesita, omitiendo aquel que ya tenga suficiente.

El potasio es considerado como uno de los elementos que más aumenta la resistencia de las plantas contra enfermedades, por aumentar la respiración (143) y con eso, la absorción de otros nutrientes, facilitando la mayor viscosidad del plasma celular. No toma parte en sustancias vegetales, pero cataliza su formación. Por eso *el efecto del potasio depende de la riqueza del suelo en otros nutrientes*, especialmente fósforo y nitrógeno. Cuando la eficacia del nitrógeno es baja debido a un manejo errado y a su nitrificación deficiente, y la falta de fósforo y calcio es tan cierta como la de micronutrientes, el efecto del potasio es reducido o negativo. Es la consecuencia directa del aumento de la respiración vegetal, sin que haya los suficientes nutrientes para absorber y metabolizar.

Mientras no se resuelva el problema de la disponibilidad del fósforo y de la eficiencia del nitrógeno, que depende de su nitrificación, para no desequilibrar la proporción ácido/base, habrá poca probabilidad de que el fertilizante potásico pueda ser eficiente, mejorando la resistencia de los cultivos contra las adversidades. También la forma del fertilizante potásico, ofrecido como cloruro, es altamente desfavorable en suelos ácidos y peor todavía en clima cálido, donde aumenta desproporcionalmente la presión osmótica externa, dificultando la absorción vegetal. Probablemente el carbonato de K sería más eficaz. El cloruro de potasio (KCl) perjudica la germinación de la semilla cuando está en contacto directo con ella, en especial las de leguminosas, que están mal provistas de carbohidratos. Y cuanto menor es la reserva de carbohidratos de la semilla, tanto peor será el efecto del cloro que viene ligado al potasio.

Cuadro 8.19 *Efecto de la fertilización sobre el rendimiento vegetal, en kg/ha* (**Sanyasi**, *1952*)

Tratamiento	*Sorgo*	*Trigo*	*Mileto*	*Total en % sobre el testigo*
NPK	1.877	1.021	1.023	225
NP	1.886	908	1.119	223
KP	1.617	769	980	191
P	1.069	564	927	141
K	855	514	682	115
NK	820	536	671	108
N	790	514	571	106
testigo	716	372	861	100

Ningún nutriente dio una respuesta satisfactoria cuando fue usado aisladamente, siendo el fósforo el que respondió un poco mejor. *El efecto de los nutrientes no fue acumulativo sino asociativo,* aumentando el rendimiento de manera drástica cuando se los aplicó en conjunto. La omisión de potasio prácticamente no alteró el rendimiento, bajándolo sólo en un 2 %, mientras que la omisión de fósforo bajó la cosecha en un 117 %.

El nitrógeno aisladamente provocó un aumento de sólo un 6 % por ser tóxico cuando no sufre rápida metabolización, lo que únicamente puede ocurrir en presencia de fósforo. Verificamos que ningún nutriente puede ser considerado aisladamente debido a sus interre-

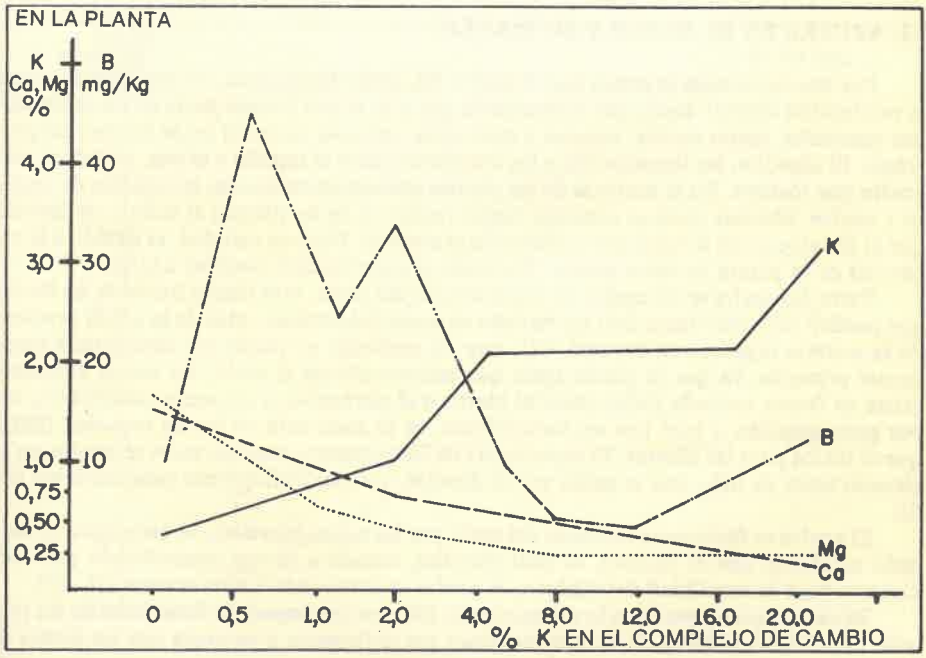


Fig. 8.38 *Absorción de diversos nutrientes por la soja, con niveles crecientes de potasio en el complejo de cambio* (**Woodruff**, *1960*).

laciones con los demás en la síntesis de proteínas. En un mecanismo de reloj también es imposible decir cuál es la parte más importante del engranaje, ya que al retirar cualquiera de ellas, la más pequeña, el reloj deja de funcionar. Como se muestra en la figura 8-38, con dosis crecientes de potasio aumenta el tenor de potasio en la hoja, pero disminuye fuertemente el tenor de calcio y magnesio (173). El tenor en boro oscila probablemente por la modificación de la absorción de cobre, manganeso, cinc, fósforo y nitrógeno que se encuentran en correlaciones recíprocíclicas. Los diversos niveles de nutrientes accionan mecanismos diferentes de absorción y metabolización. Por ejemplo: mientras el boro baja con una saturación de 2 a 8 % de potasio en el complejo de cambio, en una saturación del 12 % sube nuevamente.

Cuando el calcio en la planta desciende por debajo de un determinado nivel, el manganeso sube hasta niveles tóxicos. Cuando el nivel del magnesio baja mucho, hay un efecto desfavorable sobre el fósforo y la metabolización.

Una fertilización potásica, como cualquier otra, no es sólo la adición de un elemento, sino la modificación de un sistema, alterando innumerables reacciones que son capaces de tornar nulo o negativo el efecto del fertilizante adicionado.

Estas acciones colaterales son características a la unidad del suelo, mientras no se acrecienten los elementos que son fijados o que influyan sobre la reacción.

Resumen

El potasio (K) es indispensable para una buena producción, para la resistencia y la salud vegetal. Pero en suelos de clima tropical solamente tendrá efecto cuando la planta consigue absorber los elementos cuya metabolización debe catalizar, lo que el cloro de la sal potásica dificulta. Es imprescindible un lastre suficiente de calcio y magnesio.

EL AZUFRE EN EL SUELO Y SU MANEJO

Por mucho tiempo se pensó que el azufre (S), como fertilizante, no era necesario para la producción vegetal, hasta que se descubrió que sí lo es por *formar parte de los aminoácidos esenciales,* como cistina, cisteína y metionina, *en cuya ausencia no se forman las proteínas.* El algodón, las leguminosas y las crucíferas como el repollo y afines, absorben más azufre que fósforo. En la mayoría de las plantas encontramos tenores semejantes de fósforo y azufre. Muchas veces se consigue mejor respuesta de las plantas al sulfato de amonio que al nitrato, como si fuese una preferencia el amonio. Pero en realidad, es debido a la necesidad de la planta de tener azufre. También el superfosfato contiene azufre.

Parte del azufre se encuentra en los minerales del suelo, otra llega a través de las lluvias que pueden adicionar hasta 240 kg/ha/año en áreas industriales. Más de la mitad proviene de la materia orgánica en el suelo (62), que sin embargo no puede ser considerada como fuente primaria, ya que la planta tenía que encontrarlo en el suelo. En suelos grumosos existe en forma oxidada (SO_3) como el hierro o el nitrógeno, y en suelos anaerobios, sea por compactación o bien por encharcamiento, se lo encuentra en forma reducida (SH_2), que es tóxica para las plantas. El elevado pH de los pantanos, muchas veces se origina en su elevado tenor de SH_2, que se oxida por el drenaje, volviendo el terreno violentamente ácido.

El azufre es fácilmente lixiviado del suelo por las aguas pluviales. Se encuentra en delicado equilibrio con el fósforo, al cual moviliza, siendo a su vez inmovilizado por éste. Cuando baja la movilidad del fósforo, el azufre se torna móvil nuevamente (26, 27).

Su deficiencia se parece a la del nitrógeno (86), ya que impide la formación de las proteínas (72). Las primeras hojas que muestran esa deficiencia o carencia son los brotes de plantas en crecimiento fuerte.

En casi todos los suelos brasileños, especialmente cuando son pobres en materia orgánica, hay una respuesta positiva a la fertilización con sulfatos (126, 165, 166, 174). Tam-

bién en los suelos de tipo "cerrado" y "labrado" el efecto del azufre es pronunciado (83), como también en los suelos muy lixiviados.

La reacción al azufre difiere según la unidad del suelo (267). El maíz reaccionó con un aumento de cosecha en esta proporción:

latosol rojo oscuro	100%
latosol rojo-amarillo, fase arenosa	22%
latosol rojo-amarillo, arcilloso	0%

Un encalado aumenta el azufre disponible en el suelo (71). Los fertilizantes con azufre más comunes son: superfosfato, sulfato de amonio y sulfato de calcio (yeso). Mientras son usados fertilizantes sulfatados, el peligro de la carencia de azufre no existe. Pero cuando se usan los fosfatos naturales, nitrato de amonio y nitrato de calcio o abonos concentrados (preferidos actualmente por ser formas más económicas en el transporte), el efecto puede ser catastrófico debido a la falta de azufre. Así en Costa Rica murieron los cafetos después de la fertilización con nitrato de amonio, porque indujo a una terrible carencia de azufre (181).

La carencia de azufre no se exterioriza sólo en la formación deficiente de proteínas (62), sino también por la absorción insuficiente de otros nutrientes, al provocar la lignificación precoz de las raíces. Las lluvias consiguen lixiviar las hojas con relativa facilidad, al faltar la formación de proteínas. El ataque por hongos y bacterias es mayor.

La absorción de azufre mineral acrecentado por la fertilización parece lenta y debe pasar por transformaciones biológicas. Sólo la mitad del azufre absorbido se encuentra en forma inorgánica en la planta (figura 8-39) (55). Aunque aumente el azufre inorgánico por la fertilización en la planta, parece que únicamente es almacenado sin ser utilizado (161).

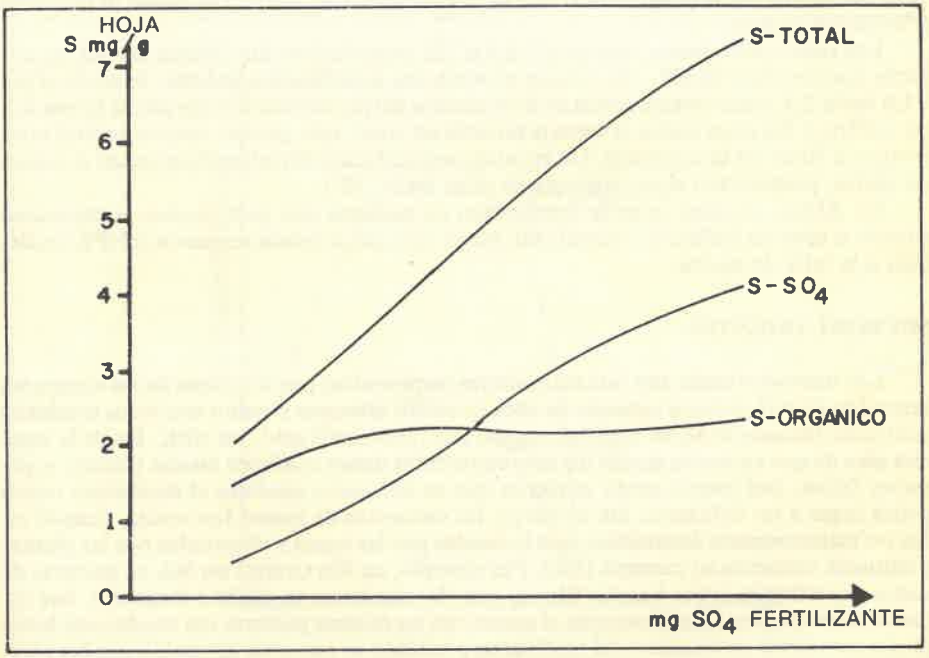


Fig. 8.39 *Absorción de azufre (SO_4) por hojas de girasol* (**Deloch**, *1960*).

Para que la planta utilice el azufre éste debe ser transformado por microorganismos. El azufre no influye sobre la absorción de fósforo y nitrógeno, como ocurre con el selenio en suelos alcalinos (145). Este puede ser controlado por medio de una fertilización sulfatada que impide su absorción por las forrajeras y con eso la intoxicación del ganado (141).

La relación N/S debe ser 34/1, calculando en peso atómico, lo que equivale a 1,5 % de nitrógeno contra 0,1 de azufre en la planta (58), mientras que su relación con el fósforo debe ser 0,12 a 0,20 % de P contra 0,10 a 0,16 % en la planta.

Cuadro 8.20 *Tenor en azufre (S) en plantas, en % de sustancia seca (***Deloch,** *1960)*

Planta	*Deficiente*	*Suficiente*
poroto	0,135	0,283
haba	0,095	0,155
tomate	0,105	0,217
maíz (tallo)	0,067	0,105
mostaza blanca	0,147	0,547
tabaco	0,234	0,644
trébol rojo	0,131	0,341

El tenor en azufre varía según la especie. El té-de-la-india es la planta más sensible a la ausencia de este nutriente (15). También la soja, el trigo y el algodón responden favorablemente a sulfatos, especialmente cuando una fertilización con nitrógeno y fósforo desequilibró su proporción en la planta.

En suelos de arroz irrigado puede tornarse tóxico en la forma reducida (SH_2), y el gas desprendido del suelo puede "quemar" las hojas, predisponiendo a la planta al bruzzone *(Piricularia oryzae).*

Los suelos pantanosos, con un pH 6,8 a 7,2, como hay en Rio Grande do Sul, se sospecha que son ricos en SH_2. Su drenaje provoca una acidificación violenta, bajando el pH a 1,9 hasta 2,4, como consecuencia de la oxidación del gas sulfhídrico que ahora forma ácido sùlfúrico. En estos suelos el drenaje no debe ser total, sólo parcial, conservando el nivel freático a 20 cm de la superficie. Un encalado e inundación del terreno controlan el exceso de azufre, permitiendo el uso agrícola de estas áreas (307).

En Africa, muchas veces la fertilización de pasturas con yeso duplica la capacidad cuando el nivel de fósforo es normal (45). No es raro que la escasa respuesta al NPK sea debida a la falta de azufre.

MICRONUTRIENTES

Los micronutrientes son biocatalizadores responsables por la síntesis de las sustancias vegetales. Hay fácilmente carencia de ellos en suelos arenosos y suelos arcillosos tropicales cultivados durante años, en especial cuando son fertilizados sólo con NPK. Existe la ingenua idea de que en suelos ácidos los micronutrientes deben existir en niveles tóxicos, y que nunca faltan. Del mismo modo se piensa que en los suelos alcalinos el molibdeno nunca podrá llegar a ser deficiente. Sin embargo, los elementos de menor frecuencia, cuando están permanentemente disponibles, son lixiviados por las aguas y absorbidos por las plantas y entonces comienza su carencia (16a). Por ejemplo, en Rio Grande do Sul, en pasturas de suelos superficiales sobre basalto básico, con elevado tenor en calcio y magnesio, hay carencia de molibdeno. Antiguamente el ganado en las mismas pasturas era mucho más bonito. La movilidad permanente del molibdeno posibilitó su continua absorción por las plantas. De modo que con el pH alto y un nivel elevado de calcio en el suelo no se garantiza la presencia de molibdeno (242). Unicamente en suelos ácidos, cuando fue hecho un encalado

para elevar el pH, el molibdeno, notoriamente fijado, será movilizado, quedando así disponible. Lo mismo ocurre con los micronutrientes disponibles en suelos ácidos. Si el suelo tenía un pH elevado que decreció con el transcurso del uso, ellos son movilizados, pero si el pH está permanentemente bajo, serán lixiviados. La excepción a esta regla son los micronutrientes que existen en cantidades elevadas, como el manganeso. En suelos arenosos, aun este elemento puede frecuentemente faltar.

En las zonas tropicales el cinc es considerado un micronutriente permanentemente escaso (131), porque es el más sensible a la falta de humedad.

La importancia de los micronutrientes está en su acción como activadores de enzimas. Las enzimas orientan el sustrato para la reacción química, economizando energía (figura 8-40).

Para que una molécula del sustrato participe de una reacción, ella deberá superar un "umbral de energía". Cuando no existen enzimas, muy pocas moléculas conseguirán superar este "umbral" participando de la reacción. Pocas sustancias nuevas serán formadas. La planta puede llegar a crecer con carencia de micronutrientes, pero su producción será insignificante (16a). Cuando existen enzimas, el sustrato es "orientado para la reacción" y la energía necesaria para poder participar será mucho menor, de modo que prácticamente todas las moléculas del sustrato podrán hacerlo. Se forma nueva sustancia en ritmo acelerado. La planta crece rápidamente, desarrollándose bien. *Las plantas que poseen la suficiente cantidad de enzimas, producen mucho más* (52).

La eficiencia del metabolismo aumenta por medio de las enzimas, y con eso, también la absorción:

a) debido a una potencia radicular mayor,

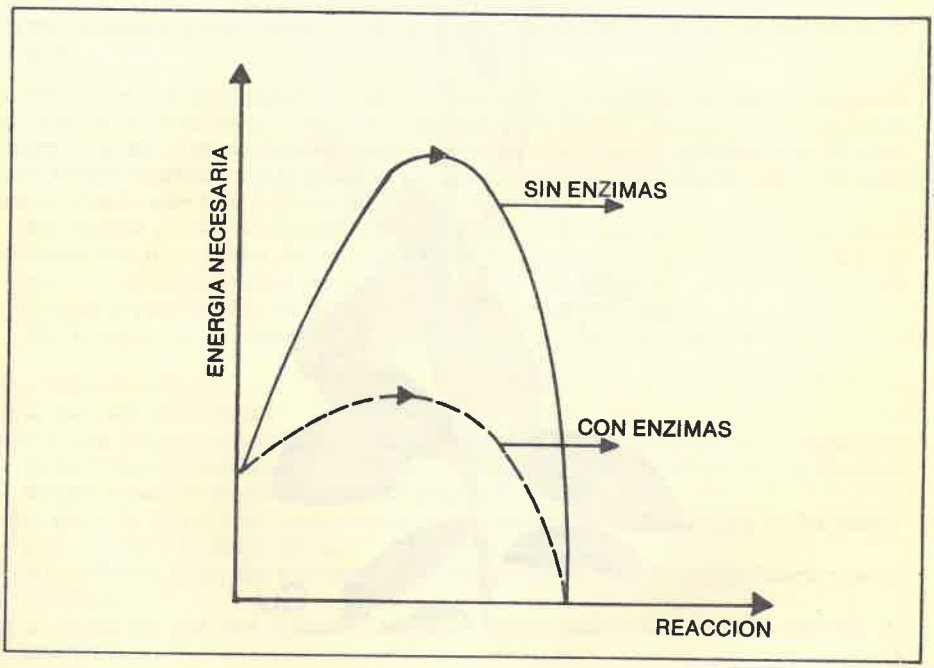


Fig. 8.40 *Energía necesaria para la reacción química con y sin enzimas* (**Mengel**, *1965*).

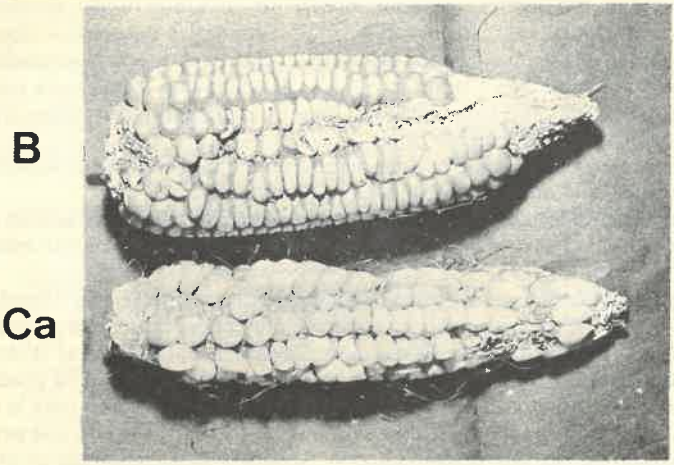


Fig. 8.41 *Espigas de maíz: la de arriba con deficiencia de boro; la de abajo con deficiencia de calcio.*

Fig. 8.42 *Brote múltiple de naranjero deficiente en cobre.*

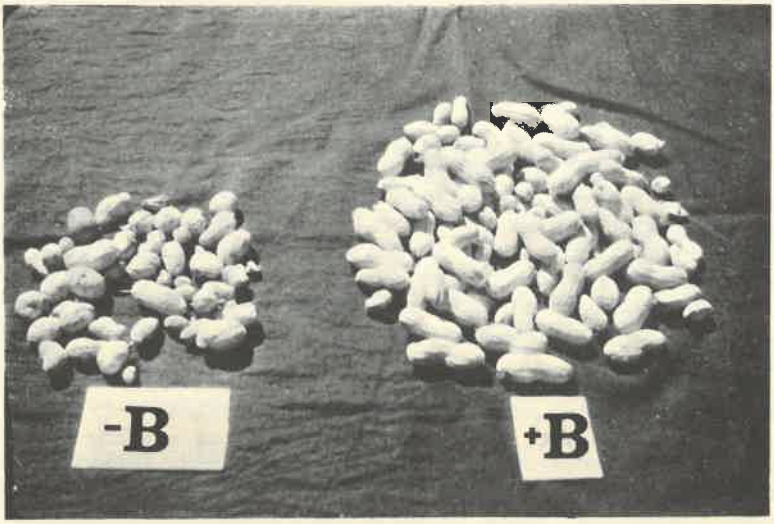


Fig. 8.43 *Cantidad de semillas de maní recogidas con y sin fertilización boratada (gentileza de* **H. C. Harris***).*

b) por tener siempre una concentración adecuada de minerales en la savia,
c) por el consumo más económico de agua, con las plantas sufriendo menos por la sequía.

Pero debe llamarse la atención sobre el hecho de que ningún micronutriente puede aumentar la producción si faltan los nutrientes que forman las sustancias orgánicas. Aumentan la velocidad de metabolización de los macronutrientes, pero nunca serán capaces de formar sustancia por sí mismos. *La aplicación de micronutrientes sólo tiene valor cuando el suelo está bien provisto de macronutrientes.*

La reacción de los micronutrientes está limitada a fajas muy estrechas y las cantidades deficientes distan muy poco de las tóxicas. Así, por ejemplo, 3 kg/ha de cinc pueden ser óptimos y 8 kg/ha ya pueden ser tóxicos. Mientras que con el fósforo, entre 100 y 600 kg/ha todavía pueden tener un efecto benéfico para la recolección.

Por lo tanto, la aplicación de micronutrientes y su efecto dependen mucho de:

a) el tipo de suelo,
b) la variedad del cultivo,
c) la época del año, siendo la mejor reacción en épocas lluviosas. En éstas, la aplicación de los "micros" podrá ser dispensada, mientras que en épocas de sequía, en el mismo terreno tienen un efecto muy grande (figuras 8-41, 8-42, 8-43),
d) la época de plantación, dando mayor efecto en relación a los testigos, en las plantaciones tardías, fuera de época,
e) el equilibrio y absorción suficiente de los macronutrientes, cuya metabolización deben catalizar,
f) la forma en que son aplicados (las sales hidrosolubles son las más difíciles de dosificar),
g) que haya suficiente oxígeno en el suelo, del cual depende la producción de energía en la planta.

Existen estrechas interrelaciones entre los micro y macronutrientes. Cuanto más nitrógeno se usa, tanto más cobre se necesita. Lo mismo vale para P/Zn, Mn, Fe, K/B, N-NO_3/Mo, N-NH_4/Mn, Ca/Fe, B, Zn, etc.

La "calibración" del suelo, es decir, la determinación del nivel máximo de macronutrientes, fósforo, potasio y nitrógeno, depende esencialmente de su contenido en micronutrientes (186).

Debido al reducido poder tampón de los suelos tropicales, es importante la aplicación de materia orgánica. Ella aumenta la capacidad de cambio en 2,0 a 2,7 me% por cada porciento de M.O. (241) y con eso también el poder tampón, o sea, la amortiguación de los choques provocados por la fertilización. El carbonato de calcio también posee un poder amortiguador. Muchas veces, una fertilización con micronutrientes en forma de sales, aun cuando falten en el suelo, produce una reacción nula o negativa en el cultivo (242). Esto es porque las sales hidrosolubles pueden ser tóxicas al comienzo, y al lixiviarse inmediatamente, faltan nuevamente. No habrá allí acción benéfica.

El efecto en suelos ácidos es mejor en forma de óxidos u óxidos silicatados. En los suelos neutros o alcalinos son preferibles las sales hidrosolubles.

Pero nuevamente debe llamarse la atención sobre que el efecto de los micronutrientes siempre depende de la presencia de materia orgánica, de una suficiente cantidad de macronutrientes disponibles y de una estructura grumosa del suelo. En suelos decaídos, compactados y pobres, agotados en materia orgánica, generalmente se consigue un efecto mínimo o negativo.

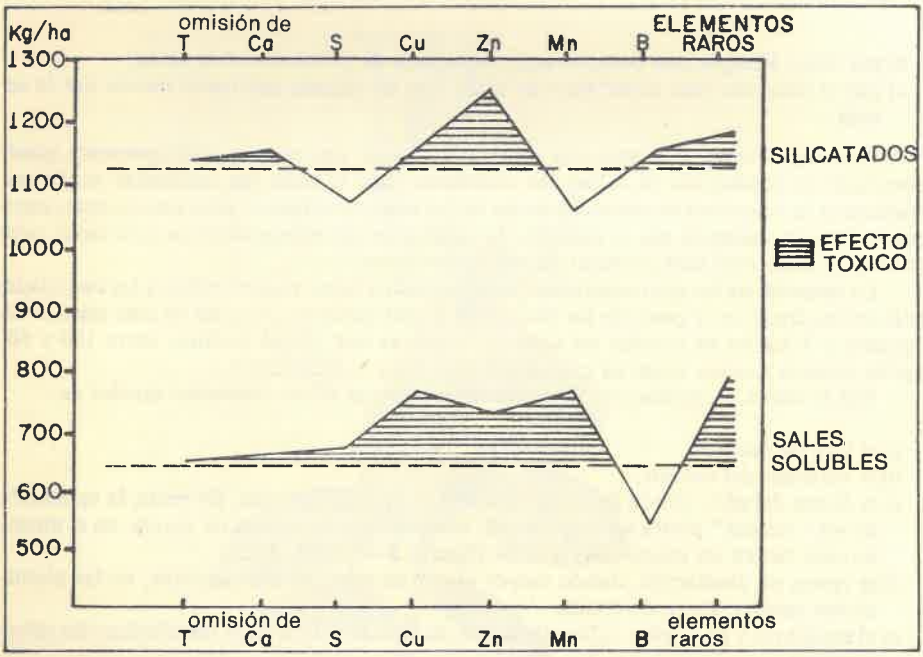


Fig. 8.44 *Efecto de micronutrientes en forma de sales y de óxido silicatados en el cultivo de trigo* (**Primavesi**, *1972*).

Obs.: Fertilización completa con omisión de los elementos citados en el gráfico.

En ninguna fertilización completa con todos los macro y micronutrientes en trigo, se verificó que los micronutrientes hayan mejorado el peso hectolítrico (figura 8-44).

En un año en que el promedio del peso hectolítrico giró alrededor de 68, con micronutrientes alcanzó a 74. Con los silicatados la omisión de azufre y manganeso causó una caída en relación a la fertilización completa, mientras que la omisión de calcio, cinc y microelementos raros (Se, Ni, Br) permitió la elevación del rendimiento. Su efecto depresivo, en esta variedad, puede ser considerado como tóxico. Con las sales solubles sólo la omisión de boro causó depresión. Cada micronutriente actuó de manera diferente: unos sobre el perfilamiento (Mn y Cu), otros sobre el tamaño de las espigas (B), otros sobre la fertilidad de las flores (S, Cu), y otros sobre el tamaño y peso del grano (B, Mn y Cu). Los elementos raros como bromo, selenio y níquel actuaron especialmente sobre la fertilidad de las flores y la calidad del grano, aunque la determinación de sus dosis no fue correcta.

La mejor calidad del grano está dada por su mayor peso y su mejor valor nutritivo y conservación. Un ejemplo práctico fue que los caballos de haras no aceptaban el maíz cuando había sido fertilizado sólo con NPK. Este tenía que ser mezclado con zanahoria y avena para que lo aceptaran como alimento. El maíz fertilizado también con micronutrientes fue aceptado de buen grado por los caballos, que hasta perseguían al cuidador para conseguir más.

En pruebas con forrajeras se verificó, que por ejemplo, la alfalfa en suelo rico en micronutrientes y fertilizado con fosfato, proporcionó un engorde de porcinos cuatro veces más rápido que la misma cantidad de alfalfa sin micronutrientes (136).

La fertilización correcta no sólo aumenta la cantidad del producto, sino también su valor biológico y nutritivo (35).

La materia orgánica aumenta la eficiencia de la mayoría de los micronutrientes, pero puede fijar cobre y cobalto.

Advertimos, sin embargo, que los micronutrientes no deben ser usados anualmente como los macronutrientes, porque se gastan menos, pudiendo permanecer por varios años en el suelo. Una fertilización anual puede provocar su toxicidad; y así un caño de hierro cincado, usado para abrir surcos, puede ser suficiente para abastecer a las plantas con el cinc necesario (107).

Las épocas secas pueden provocar la falta de micronutrientes, en especial de cinc y boro (24, 236), que, sin embargo, normalmente desaparecen por completo en épocas húmedas. Eso hace que la fertilización con micronutrientes sea difícil. Para regular su abastecimiento se aconseja: *mantener adecuado el poder tampón del suelo, mantener la materia orgánica en un nivel aconsejable, y usar micronutrientes preferencialmente en formas menos solubles que los sulfatos y cloruro.*

Correlación entre los micronutrientes

El cinc, especialmente, es importante para la metabolización en general (131, 160), y cuando falta, casi todos los otros nutrientes se acumulan en la planta, inclusive el fósforo, sin poder formar sustancias orgánicas. Su carencia puede provocar la toxicidad de P.

El boro actúa principalmente en el transporte de los carbohidratos de la hoja hacia la raíz, influyendo por lo tanto, sobre la calidad y potencial de la raíz y su poder de absorción (18). Con su carencia las raíces son aguachentas.

El cobre disminuye la absorción de nitrógeno y acelera la metabolización de proteínas. Su efecto depende de la presencia de nitrógeno. Por otro lado, una deficiencia de cobre aparenta un exceso de nitrógeno (34, 133, 229, 236), impidiendo la producción de semillas y tubérculos (97).

El manganeso, el cinc y el boro actúan sobre la respiración y la transpiración vegetal. Las plantas carentes de estos elementos consumen mucha más agua para producir 1 kilogramo de sustancia seca, que las plantas bien provistas.

La interrelación entre los micronutrientes es muy delicada. Así una fertilización con bórax moviliza manganeso y cinc, pudiendo aniquilar el efecto depresivo de un encalado.

Pero es necesaria también una aplicación de cobre, cuya absorción es bloqueada por el boro (280).

En suelos arenosos del "cerrado", los cultivos de café, algodón, papas, leguminosas, banana, maíz y arroz reaccionan bien a los micronutrientes (85, 87, 90, 153, 157, 253). Los micronutrientes que más faltan en estos suelos son boro, cinc y molibdeno.

En las zonas tropicales, donde la eficiencia del nitrógeno es baja, rara vez ocurre la deficiencia de cobre (2, 275). Es muy importante en los cultivos de tabaco, papa y tomate, así como en el arroz irrigado (221, 227, 236).

Cuadro 8.21 *Tenor promedio de micronutrientes en las hojas de algunos cultivos tropicales, en mg/kg de sustancia seca (***Malavolta,** *1962)*

Cultivo	*Boro*	*Hierro*	*Manganeso*	*Zinc*	*Cobre*	*Molibdeno*
café	77-100	226-333	51-260	7-30	17-52	4
caña de azúcar	1,5-12	675-1170	617	35-389	8-22	0,13-0,18
citrus	50-150	60-200	25-200	25-100	6-20	0,1-1,0

Obs.: Niveles adecuados de micronutrientes en la planta.

Comprobamos en el cuadro 8-20 que cada especie tiene su necesidad específica, permitiendo oscilaciones muy grandes según la variedad y la unidad del suelo.

La composición mineral de las forrajeras muestra la tendencia a modificarse en cada rebrote. El segundo corte, por lo general, es más pobre en potasio y, casi siempre, más rico en calcio, aunque la deficiencia dé un micronutriente puede alterar este cuadro (cuadro 8-23).

Resaltamos: *la deficiencia de un micronutriente no solamente torna a la planta más pobre en este elemento, sino también altera la concentración de otros minerales en la planta.* La absorción y concentración de cada nutriente ejercen efectos colaterales sobre la absorción y concentración de otros, no pudiendo ser nunca tomadas aisladamente (cuadros 8-21, 8-22, 8-23). Por eso, todo análisis foliar de tenor en nutrientes no tiene valor práctico si no trae los valores de todos los nutrientes para el desarrollo normal de la planta. *Sólo las proporciones entre los minerales y sus niveles pueden informar sobre la producción.*

Cuadro 8.22 *Rendimiento y composición de la alfalfa con y sin micronutrientes (***Harris,** *1973)*

Tratamiento	*Cosecha*	*Tenor en %*			
	g/vaso	*N*	*P*	*Ca*	*S*
completo	24	3,3	,19	1,77	,29
- S	25	3,0	,19	2,97	,14
- CU	20	2,7	,19	1,96	,27
- Zn	31	3,3	,21	2,03	,26
- *B*	*7*	*3,5*	*,25*	*2,04*	*,33*
- Mo	18	2,5	,23	2,00	,30

Se observa el "efecto de acumulación" debido a la disminución del crecimiento vegetal. Un análisis foliar con valores muy altos de nutrientes puede acusar una buena nutrición de la planta, pero también puede acusar la falta de un elemento nutritivo y una estrangulación en el crecimiento.

Cuadro 8.23 *Micronutrientes y su efecto sobre el rendimiento del cultivo* (**Harris**, *1973*)

Cultivo	*Elemento*	*Cosecha g/vaso*		*Nitrógeno en las plantas*		*Potasio % en las plantas*	
		con	sin	con	sin	con	sin
maíz	Zn	17	8	1,4	2,8	0,9	2,2
avena	Cu	37	23	1,5	2,1	1,4	1,7
altramuz	Mo	19	11	3,3	2,5	0,7	1,0
altramuz	Cu	31	25	3,6	3,9	0,9	1,1
trébol blanco	Cu	18	8	4,3	3,1	2,5	3,5
alfalfa	B	24	7	3,3	3,5	2,2	2,5

Cuadro 8.24 *Efecto de la carencia de micronutrientes en el tenor en calcio y potasio, en forrajeras, 1° y 2° cortes* (**Harris**, *1973*)

Tratamiento	*Forrajera*	*Potasio %*		*Calcio %*	
		1° corte	*2° corte*	*1° corte*	*2° corte*
completo	avena	2,8	1,4	0,14	0,24
- Cu	avena	3,6	1,7	0,13	0,31
completo	trébol blanco	2,2	1,1	0,87	1,05
- Mo	trébol blanco	2,6	1,4	0,97	0,78

Por otro lado, una fertilización con uno u otro nutriente aumenta su concentración en la planta. Pero esta concentración no se correlaciona con la producción mientras no se calcula el "índice de crecimiento".

Comprobamos que la presencia o ausencia de un nutriente ejerce un efecto sobre la concentración de los otros nutrientes en la planta. El aumento drástico de todos los elementos nutritivos en ausencia de boro, se debe a la falta de crecimiento vegetal, y por lo tanto, a su acumulación inactiva en la planta.

CALIDAD DE LOS PRODUCTOS VEGETALES COMO CONSECUENCIA DE SU NUTRICION

Cuando un micronutriente es escaso en la nutrición vegetal, la producción será menor, pero todavía será posible conseguir una recolección comercial. Pero, por supuesto, el producto no será idéntico a aquel en que el nutriente está presente. Así, por ejemplo, las raíces de mandioca serán aguachentas si falta boro (105), el tenor en caroteno de las hojas de soja será reducido si escasea el manganeso (32), y la cantidad de ácido cítrico decrece con la carencia de cobre (236). Un test de aminoácidos en la hoja de arroz muestra una gran diferencia en presencia de suficiente cobre, y en ausencia de éste (205). Si falta un elemento, los aminoácidos no esenciales habitualmente aumentan en forma libre y disminuye la síntesis de proteínas (13). Por otra parte puede haber un cúmulo de sustancias en la planta, en especial alcaloides, cuando falta un micronutriente, significando que los procesos bioquímicos quedaron a medio camino sin poder ser terminados, como por ejemplo, la formación de caroteno en ausencia de Mn (figura 8-45).

El boro evita la producción excesiva de nicotina en el tabaco (271). La elevación unilateral de nitrógeno, con deficiencia de Mn y Cu, provoca la acumulación de nitritos en algunas plantas como el cardo, la "hierba-Santa María" (*Chenopodium anthelminthicum L.*) y gramíneas de porte grande. La absorción deficiente de potasio provoca mayores tenores en

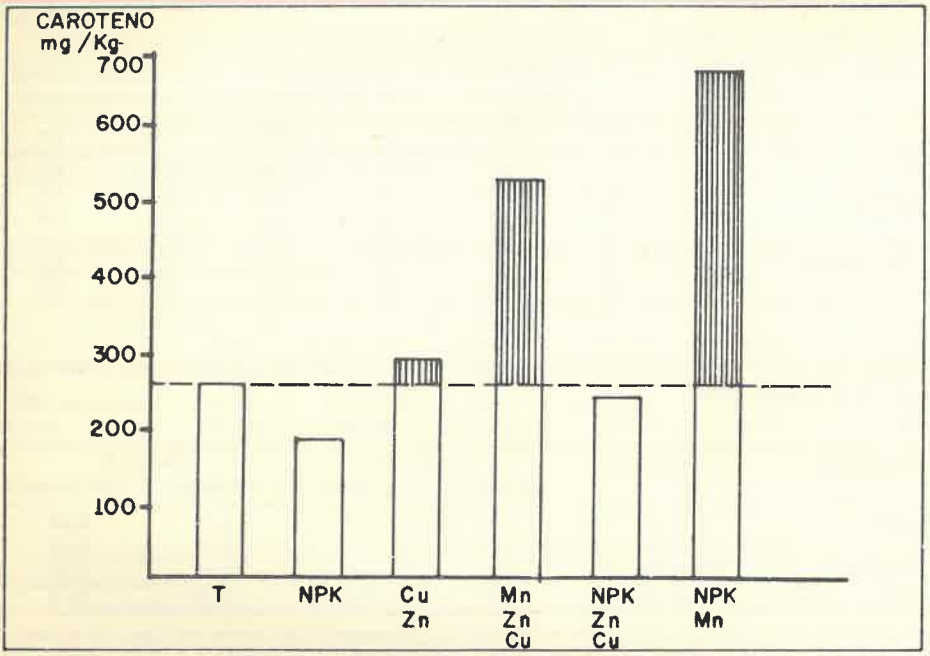


Fig. 8.45 *Efecto de los micronutrientes sobre el tenor de caroteno en las hojas de soja (***Burger y Hauge,** *1951).*

cumarina en el trébol dulce (*Melilotus albus*), y la formación de sustancias tóxicas como putrescina en hojas de maíz, algodón y café.

FERTILIZACION FOLIAR

En casos de emergencia, en montes de frutales y cultivos de huerta y granja, el fertilizante puede ser pulverizado en las hojas (191) en soluciones que no sobrepasen 0,8 a 1,2 % de concentración. Las pulverizaciones deben ser hechas de mañana, cuando todavía hay rocío en las hojas, para garantizar su rápida absorción. En hojas secas al sol el efecto no se garantiza, y hasta puede provocar quemaduras en las mismas, ya que cada gotícula de agua, por pequeña que sea, actúa como una lente.

La fertilización foliar difícilmente podrá ser utilizada en sustitución de la fertilización del suelo, a no ser por los micronutrientes de los cuales el cultivo necesita sólo cantidades mínimas. Pero, con la falta total en el suelo, eso también es de cuidado, pues muchos nutrientes son necesarios en las reacciones del seno de la raíz, pero difícilmente se trasladan desde la hoja.

El efecto de una fertilización foliar depende no sólo de la absorción de los nutrientes, sino también de su movilidad en dirección a la raíz. Si el transporte basipétalo es débil, el efecto en la hoja será reducido. Los elementos que mejor se distribuyen en la planta son el potasio, el fósforo y el azufre. Los micronutrientes, por lo general, son transportados muy lentamente, y el calcio y el magnesio, prácticamente, no se mueven del lugar en que fueron aplicados.

Si una fertilización al suelo no surte efecto, generalmente por una absorción insuficiente, como ocurre muchas veces con el P en los cafetales, mientras una fertilización foliar

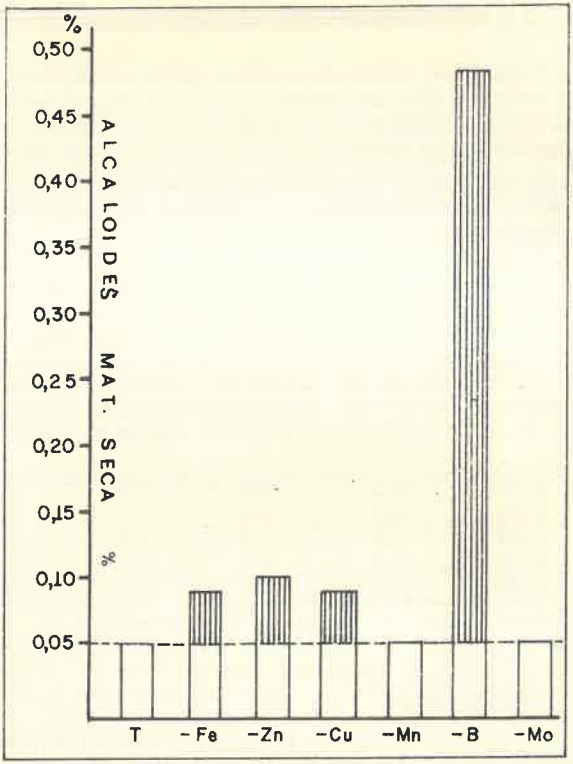


Fig. 8.46 *Efecto de la deficiencia de diversos micronutrientes sobre el tenor de nicotina en el humo* (**Steinberg & Jeffries,** *1956).*

aumenta el tenor del nutriente en el tejido foliar, se puede tener certeza de que el suelo está en pésimas condiciones físicas y tiene que ser urgentemente mejorado.

Por otro lado, el efecto de la fertilización foliar sobre la producción no sirve cuando el metabolismo vegetal es deficiente. Por lo tanto, el efecto sobre la producción depende de un suelo aireado y grumoso. En suelos compactados difícilmente aumenta la cosecha. Por lo anterior, la fertilización foliar debe ser tomada más como un impulso para la nutrición vegetal que como un factor de nutrición (313, 314), así como medida de saneamiento de alguna deficiencia aguda no detectada en la época de la plantación y que cuestiona la producción del cultivo.

Su efecto, sin embargo, será nulo si la deficiencia ya existía en la semilla, como por ejemplo, en la de coliflor la carencia de molibdeno, como se vio anteriormente.

En épocas secas puede hacer que el cultivo produzca cuando es aplicada frecuentemente. Sin embargo, es peligrosa cuando se usa espaciadamente, por inducir a una producción que las plantas no pueden sustentar (313).

Aplicada dentro de sus limitaciones, es una medida óptima de emergencia, en cultivos que hayan sido plantados en suelos grumosos.

Resumen

El aumento de la producción no siempre coincide con el aumento de la rentabilidad, debido a la baja eficiencia de los fertilizantes en suelos tropicales. Esta depende de la bio-

estructura decaída, de la infiltración deficiente de agua y de la carencia de micronutrientes específicos.

El fósforo se torna tanto menos disponible cuanto mayor es la compactación del suelo. La reacción deficiente del nitrógeno depende de la inactividad de los suelos físicamente decaídos, ya que la nitrificación es esencial para el mantenimiento del equilibrio ácidos/bases. La forma amoniacal del nitrógeno pesa en la balanza de las bases, disminuyendo la absorción de calcio, potasio y magnesio, bajando la resistencia del cultivo a las pestes.

El efecto del potasio, probablemente, es el resultado del desequilibrio ácido/base y la movilización de manganeso.

Cuadro 8.25 *Población, consumo de fertilizantes y producción de alimentos en los países en desarrollo (***Malavolta,** *1977)*

Población *año*	*millones*	*Fertilizante consumido mill/t*	*Granos producidos mill/t*	*Fertilizante consumido kg/cápita*	*Granos producidos kg/cápita*	*Rendimiento *t granos por t fertilizante*
1970	2.577	12,4	603	4,8	234	48,6
1974	2.842	19,0	636	6,7	224	33,5
1980	3,288	31,0	728	9,4	221	23,5
1990	4.150	57,0	875	13,7	221	15,4
2000	5.095	92,0	1.021	18,1	200	11,1

* La comparación es del autor

Consumo de fertilizantes y energía

Se calcula que el efecto del fertilizante será siempre menor y la producción de alimentos siempre más cara cada vez, si no conseguimos aumentar la eficiencia de los fertilizantes.

Y mientras disminuyen nuestras fuentes de energía, aumenta el gasto por la tecnología actual. Y cuando la población del tercer mundo se cuatriplique, se calcula que no habrá más petróleo. ¿Con qué produciremos nuestros alimentos?

Cuadro 8.26 *Manejo de la energía (en la producción de maíz en EE.UU.) (Por* **Pimentel,** en **J. R. Guillaumon,** *J. Ing. Agr.* N° 79, abril 1977.)

	1945 (en calorías)	1970 (en calorías)
mano de obra	12.500	4.900
maquinarias	180.000	420.000
gasolina (combustible)	543.000	797.000
fertilizantes	75.000	1.056.000
semillas	34.000	63.000
irrigación	19.000	34.000
pesticidas	0	22.000
secado	10.000	120.000
electricidad	32.000	310.000
transporte	20.000	70.000
energía acrecentada en calorías	925.500	2.897.000
El consumo de energía se triplicó en 25 años (313%)		
producción de maíz	3.427.200	8.165.000 (calorías)
rendimiento de energía	3,70	2,82
(el rendimiento de energía disminuyó un 76%)		

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Adams, F.** -1966- Calcium deficiency as reasons of damage on cotton seedlings because of ammonium-phosphate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(3):485-88.*

1a. **Anjos, J. T. e M. J. Tedesco,** -1973- Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente de uréia em solos cultivados. *XIV congr. bras. ciência solo, Santa Maria, p 232-41.*

2. **Aduayi, E. A.** -1971- Effect of copper on the growth and major nutrient content of coffee seedlings grown in nutrient solution. *Turrialba, 21(1):53-7.*

3. **Ahmad, N. L.; I. Tulloch Reid e C. E. Davis,** -1969- Fertilizer studies on pangola grass (*Digitaria decumbens)* in Trinidad. II Effect of phosphorus, potassium and magnesium. *Tropic. Agric. 46(3):179-86.*

4. **Alexander, V. T. e M. M. Misra,** -1972- Effecto que ejerce el tratamiento presiembra de semillas en solución de potasa sobre la resistencia a la sequia del trigo baja condiciones en que la lluvia es la más importante fuente de água. *Rev. Potasa, 9/22a.*

4a. **Amorim, H. V. de, L. C. Scoton, H. F. Haag e E. Malavolta.** -1968- Estados de alimentação do cafeeiro XV: Efeito da variação do pH no desenvolvimento e composição química do cafeeiro. *(Coffea arabica L. var. Mundo Novo) An. E. S. A. Luiz Queiroz, XXV:121-34.*

5. **Anastacio, M.** -1968- Fixação de fósforo nos solos brasileiros. *Bol. Téc. Nº 4 M. A. Brasil.*

6. **Arminger, W. H.** -1968- Different tolerance of soybean varieties to an acid soil high in aluminium. *Agron. J. 60(1):67-70.*

7. **Arshad, M. A. C. e J. A. Carson,** -1967- Ionic exchange behaviour in a loam soil as indicated by movement of radio-calcium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(2):321-24.*

8. **Bache, B. W. e R. G. Heathcote,** -1969- Long term effect of fertilizers and manure on soil and leaves of cotton in Nigeria. *Exp. Agric. 5:241-47.*

9. **Bakurdzhieva, N.** - 1970- Tratamento da semente com micronutrientes. *Izv. Inst. Fiziol. Rast. Bulg. Akad. Nauk 16:203-12. (ref. C. A. 74(7):31202, 1971)*

10. **Barber, S. A.** -1962- A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. *Soil Sci. 93:39-49.*

11. **Barbier, G.; J. Billans e R. Bonifacio,** -1966- The influence du réaction du sol sur la mobilité des ions phosphatiques presentes. *Compte Rend. Acad. Agric. France, 52:738-45.*

12. --------, **J. C. Fardeau e P. Martine,** -1971- Sur la capacitée de difusion des ions phosphatiques dans le sol. *Ann. Geron. 22:309-42.*

13. **Bartholomew, W. V.** -1972- citado em **Sanchez, P.:** a review of soil research in tropical Latin America. *Soil Sci. Dept. North Carolina State Univ.*

14. **Bastos Macedo, J. M. M. de** - 1963- Nota acerca de medição e interpretação dos pH dos solos. *4º Jorn. Silvo Agron. Angola, Vol. 1:169-77.*

15. **Bennet, A. O. e F. Adams,** -1970- Calcium deficiency and amonium toxidity as distinct causes of $(NH_4)_2$ HPO_4 injuries of seedlings. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(2):256-59.*

16. **Bergmann, W. e o.** -1971- Ein Beitrag zur Wirkung von Mehrnährstoffdüngermitteil. *Arch. Acker u. Pflanzenb. u. Bodenkd. 15(10):857-71.*

16a. -------- e **P. Neubert,** -1976- Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. *Fischer, Jena.*

17. **Bertrand, D. e A. Wolf, de** -1968- Requirement for the trace element crome in growing potatoes. Citado em **Katalymow, M. W.** 1969, Mikronährstoffe und Mikronährstoffdüngung. *Deutsch. Landw. Vlg. Berlin.*

18. **Bingham, P. T.; A. L. Page, e N. T. Coleman,** -1971- Boron absorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(3):546-50.*

19. --------, e **M. J. Garber,** -1960- Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorous fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24(1):209-13.*

20. **Blanchet, R.** -1972- Fertilizer use and ecologial factors. *Scient. Varia. 38:363-401.*

21. **Blanco, H.G.; W. R. Venturini e H. Gargantini,** -1965- Adubação mineral para o trigo no Sul do Estado de São Paulo, B*ragantia, 24:481-505.*

22. **Blosser, D. L. e H. Jenny,** -1971- Correlation of soil pH and percent of saturation as influenced by soil forming factors. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(6):1017-18.*

23. **Bolton, E. F.; J. W. Aylestorth e W. I. Findlay,** -1970- Longtime nitrogen fertilization on soil pH and lime requirement of Brookston clay. Canad. *J. Soil Sci. 50:260-61.*

24. **Bonnet, J. A.** -1969- Influence of varieties and seasons upon mineral nutrient levels of coffee leaves from Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico, 53(3):177-86.*
25. **Borchmann, W. e K. O. Fibian,** -1971- Kupferbedürfnis mit steigernder Stickstoffdüngung. *Z. Pflanzernern. Bodenk. 15(10):763-69.*
26. **Bornemisza, E.** -1972- Problems of fertilizer use in Latin America. *Scient. Varia, 38: 189-212.*
27. - - - - - - - -, e **R. Llanos,** -1967- Sulphate movement, adsorption and desorption in three Costa Rica soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(3):356-60.*
28. **Borys, M. W.** -1968- Influência da nutrição mineral na resistência das plantas aos parasitas. *Prog. Biodin. Prod. Solo, Sta. Maria/RS, pp 385-404.*
29. **Boussingault, E.** -1885- citado em **Voisin, A.** 1966, Leyes cientificas en la aplicación de los abonos. *Tecnos, Madrid.*
30. **Brown, L. O. e J. C. Brown,** -1968- A further evidence for a disbalance in plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(1):94-7.*
31. **Bull, R. A.** -1963- Mulching and irrigation in coffee soils. *Turrialba, 13(1):22-7.*
32. **Burger, O. J. e S. M.Hauge,** -1951- Relation of manganese to the carotene and vitamin content of growing crop plants. *Soil Sci. 72:303-13.*
33. **Bussler, W.** -1968- Symptome and Symptomsequenzen bei Ernährungsstörungen von höheren Pflanzen. *Kali-Briefe, 2/3.*
34. - - - - - - - -, -1970- Nährstoffüberschuss an höheren Pflanzen, auftretende Symptome. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 125(2):97-100.*
35. - - - - - - - -, -1972- The importance of balanced fertilizers with 12 mineral nutrients for higher yields and adequate quality. *Scient. Varia, 38:503-40.*
36. - - - - - - - -, -1966- Optimale Nährstoffverhältnisse für die Pflanze. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 113(3):247-52.*
37. **Cadet, R.; L. Soubiés e F. Fourcassie,** -1961- Remonté des nitrates dans les couches superficielles de sol en periodes estivales. *Compte Rend. Acad. Agric. France, 47:897-910.*
38. **Camargo, P.; E. S. Freire e W. R. Venturini,** -1962- Efeito da calagem e diversas adubações na batata-doce e no cará em solos de baixa fertilidade, derivados do arenito Botucatu. *Bragantia, 21(11):143-61.*
39. **Carneiro Freitas, J.A.; J. M. Braga e S. S. Brandão,** -1973- Adubação mineral (NPK) de arroz em solos na região noroeste de Maranhão. *Experientiae, 15(11):291-313.*
40. Carvajal, J. F. -1972- Cafeto, cultivo y fertilización. *Inst. Intern. Potasa, Berna, Suiça.*
41. **Cate, R.** -1970- Programa unificado de interpretação de análises. *Reunião dos labor. análises do solo. Campinas.*
42. **Chang, S.Y.; R. H. Lowf e A. J. Hiat,** -1968- Correlation between temperature and development of calcium deficiency. *Soil Sci. 106:382-91.*
43. **Cernyanskaja, T. N. e O. F. Tujewa,** -1967- Störungen im Stoffewechselaustausch bei Kürbispflanzen bei Phosphormangel. *Agrarchemie, 20-29.*
44. **Cheng, B. Y. e G. J. Quellete,** -1970- The effect of some nitrogen fertilizers on manganese and iron availability, determined by incubation and sand culture assay. *Canad. J. Soil Sci. 2:163-70.*
45. **Chernery, E. M.** -1966- Factors limiting crop production. *Tee Span. 9(1):45-8.*
46. **Clarck, J. S.; A. J. Green e W. E. Nichols,** -1967- Cation exclange and related properties of some soils of Vancouver. *Canad. J. Soil Sci. 47:187-202.*
47. **Cheng, B. Y. e G. J. Quelette,** -1968- Effect of different anions on manganese toxicity to *Solanum tuberosum. Canad. J. Soil Sci. 45:109-115.*
48. **Coffee, R. C. e W. V. Bartholomew,** -1964- NH_3 absorption by a moist mulch on sandy soil. *Soil Sci.Soc. Amer. Proc. 28(3):482-85.*
49. **Coic. Y e o.** -1963- Influence de la dificience en phosphore sur la composition mineral de l'orge à la recolt. *Ann. Physiol. veget. 5(4):277-80.*
50. - - - - - - - -, -1972- Fertilization minéral et qualité des recoltes. *Scient. Varia, 38:591-625.*
51. **Cornel Univ.** -1971- *Ann. Res. Rep. Contract AID/csd 2490, pp 300.*
52. **Cox, F. R.** -1972- Micronutrients. Chapt. 10, citado em **Sanchez, P.** A review of soil research in tropical Latin America. *Contract AID/csd, pp 244-64. North Carolina State University.*
53. **Cunningham, R. H.** -1963- What shade and fertilizers are needed for good cocoa production? *Cocoa Growers Bull. 1:11-16.*

54. **Davidescu, D. e V. Davidescu,** -1969- Agroquimia. *Ed. Didactica si Pedagogica, Bucarest, p 423.*
55. - - - - - - - -, **C. H. Suteu, e o.** -1971- Utilization par le mais du soufre provant du $(NH_4)_2SO_4$ et du balaste de $^{35}CaSO_4$ contenue dans les superphosphate. *Ann. VII Symp. Int. Agrochim. Venezia, pp 372-85.*
56. - - - - - - - -, **S. Star e V. Davidescu,** -1971- Recherches sur la nutrition soufrée des plants à l'aide des composés organiques et inorganiques marqués. *Ann. VIII Symp. Int. Agrochim. Venezia. pp 386-94.*
57. **DeKock, F. C.** -1958- The nutrient balance in plant leaves. *Agric. Progr. Vol. XXXIII: 88-95.*
58. - - - - - - - -, -1960- Über die analytische Bestimmung des S in biochemischen Substanzen und die S Aufnahme landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Tese, Univ. Giessen.*
59. **Dhar, N. R.** -1961- Nitrogen problem. *48º Indian Congr. Sci.*
60. - - - - - - - -, -1968- Organic matter, basic Thomas slag and soil productivity. *Progr. Biodin. Produt. Solo. Sta. Maria/RS, pp 51-56.*
60a. - - - - - - - -, -1972- World food crisis and land fertility improvement. *ed. Univ. Calcutta.*
61. **Delaune, R. O. e W. H. Patrick Jr.** -1970- Urea conversion to ammonia in waterlogged soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(4):603-07.*
62. **Dijkshoorn, W.** -1967- Sulphure requirement of plants as evidenced by the S/N ratio in organic matter. *Plant & Soil, 26:129-57.*
63. **Döbereiner J. e R. Alvahydo,** -1966- Eliminação da toxidez de manganês pela matéria orgânica em solos "gray hidromórfico." *Pesq. agropec. bras. 2:163-70.*
64. **Donahue, R. L. J. C. Schickluna e L. S. Robertson,** -1972- Soils, an introduction to soils and plant growth. *Prentice Hall, New Jersey.*
65. **Drennan, D. S. H.; A. M. M. Berrie e G. A. Armstrong,** -1961- Prevention of manganese deficiency by soaking grains in solution of $MnCl_2$. *Nature, 190:824.*
66. **Dumphey, E. j.; M. E. Meinnen, C. E. Fulcher e L. T. Kurtz,** -1968- Effect of soil moistening on the tolerance of soybean varieties to high levels of P fertilizers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(2):374-79.*
67. **Eaton, G. W. e M. K. John,** -1971- Influence of Ca and Mn on growth and mineral composition of peas. *Agron. J. 63:219-21.*
68. **Ebert, K.; E. Thaimann, H. Wahl e H. Görlitz,** -1971- Einfluss hoher Stickstoffgaben und die Phosphordüngerform auf den Mikronährstoffgehalt und Entzug landwirtschaftlicher Nutzpflanzen auf sandigen Böden. *Arch. Acker u. Pflanzenb. u. Bodenkd. 15(10):841-50.*
69. **Elias, A. M.** -1959- Soja no Rio Grande do Sul. *Ensaios 1957-58, p 36, Secret. Agric. P. Alegre.*
70. **Elgabaly, M. M.** -1962- On the mechanism of anion uptake by plant roots. *Plant & Soil, 16:148-56, e 157-64.*
71. **Elking, D. M. e L. E. Ensminger,** -1972- Soil pH influence on availability of absorbed SO_4. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(6):931-34.*
72. **Epstein, E.** -1972- Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. *Wiley & Sons, New York.*
73. **Fassbender, H. W.** -1966- La absorción de fosfatos en suelos fortemente ácidos y su aplicación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotec. Latinamer. 3(1):203-16.*
74. - - - - - - - -, -1968- Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica, 12:512-21.*
75. - - - - - - - -, -1969- Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri. digest. 18:20-27.*
76. - - - - - - - -, **e R. Molina,** -1970- The influence of silicate and liming on phosphor fertilizers in vulcanic ash soils in Costa Rica. *Turrialba, 20(2):215-21.*
77. - - - - - - - -, **e S. E. Piere,** -1971- Effect of liming on the exclangeable cation composition and availability in six Costa Rica soils. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 130(2):124-35.*
78. **Feodorova, L. D.** -1966- The effect of long time use of fertilizers on the agrochemical properties of peat-podzol soils. *Chem. Abstr. 65/8:12819 e.*
79. **Fitts, J. W.** -1972- Sur l'emploi des fertilisants et leur effect sur l'acroissement des recolt. *Scient Varia, 38:5-43.*
80. **Fleisch, P.** -1970- Die Herkunft eutrophischer Stoffe beim Pfäffiker und Greifensee. *Tese, Univ. Zürich.*

81. **Forbes, A. L.** -1970- Scientists suggest army war on hunger to foster world peace. *Army Res. Devel. 11(3):30-33.*
82. **Fox, R. H.** -1968- The effect of calcium and pH on the boron uptake of cotton and alfafa. *Soil Sci. 106:435-39.*
83. **Freire, J. Cardoso, e A. Scheid, Lopes e o.** -1973- Influência de enxofre na produção de matéria seca do milho. *XIV Congr. bras. ciênc. solo. Sta. Maria/RS.*
84. **Freitas, L. M. M.; P. F. Pratt e L. Vettori,** -1968- Testes rápidos para a estimação de necessidade de calagem de alguns solos de São Paulo, *Pesq. agropec. bras. 3(1):159-64.*
84a. **Gadet. T.; Q. Soubiés e F. Fourassie,** -1961- Remontée des nitrates dans les couches superficielles du sol en periode estivale. *Compt. Rend. Acad. Agric. France, 47:897-910.*
85. **Gallo, J. R.; R. Hiroce e L. T. Miranda,** -1965- A análise foliar na nutrição do milho. II: Resultados de ensaios de adubação com N–P–K–S e micronutrientes. *Bragantia, 24(Nota 14):71-7.*
86. ------, **R. Hiroce, O. C. Bataglia e F. R. Pupo, Moraes,** -1971- Teores de N nas folhas de cafeeiros em relação à adubação química. *XIII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória.*
87. --------, e o. -1973- Situação nutricional de bananais no Estado de São Paulo. *XIV Congr. bras. ciênc. solo. Sta. Maria/RS.*
88. **Gammon, N. e W. G. Bruce,** -1968- Loss of calcium and clover-grass production after four lime applications on a fine sandy soil. *Soil Sci. 106:369-73.*
89. **Gargantini, H. e S. A. Nobrega,** -1965- Efeito da adição de micronutrientes à adubação de batatinhas em solo de vale do Paraíba. *Bragantia, XXXIII.*
90. **Gargantini, H.; H. G. Blanco; P. Haag e E. Malavolta.** -1973- Absorção de nutrientes pelo trigo. *Bragantia, 32(único): 285-307.*
91. **Gass, W. B.; G. A. Peterson, R. D. Hauck e R. A. Olson,** -1971- Recuperation of nitrogen residuals by corn *(Zea mays L.)* of different soil depths, measured with ^{15}N. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(2): 290-94.*
91a. **Geus, J. G.** -1973- Fertilizer Guide of Tropics & Subtropics. *Centre d'étude de l'azote, Zürich.*
92. **Gieseke, F.** -1930- Subtropische Schwarzerden, citado em **Blanck, E.** *Handbuch der Bodenkunde, Berlin, Vol. 6 pp 253-342.*
93. **Goepfert, C. P.; O. Salim e C. A. S. Osório,** -1973- Experimento de calibração na cultura de milho *(Zea mays)* em solo Bela Vista. *XIV Congr. bras. ciênc. solo. Sta. Maria/RS.*
94. **Gomes, H. A. e V. Stefanello,** -1973- Influência da adubação nitrogenada na produção de grãos em casca de três variedades de arroz-irrigado. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta. Maria/Rs.*
95. **Goodland, R.** -1971- Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simpos. cerrados, USP, pp 44-59.*
96. **Gorodnij, N. G.** -1961- Einfluss von dauernden System-Düngergaben auf die Humusansammlung und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen. *Pochvov. 86-93.*
97. **Gouney, P.** -1973- Observaciones sobre el Comportamiento del vegetal en presencia de ions de cloro. *Rev. Potasa, 5/3.*
98. **Greenleaf, W. H. e F. Adams,** -1969- Genetical control of flower rot of tomatoes over calcium metabolism. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94:248-50.*
99. **Grimme. H.; K. Kemeth e L. C. Braunschweig, von,** -1970/71- Some factors controlling potash availability in soils. *Büntehofabstrakt.*
100. **Grosse, B.** -1963- Über den Einfluss der Bodenerosion auf die Ertragssteigerungsfähigkeit. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 102(3):212-17.*
101. **Gupta, U. C.** -1972- Interaction effects of boron and lime on barley. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(2):332-34.*
102. **Haas, W.** -1966- Die Abhängigkeit der Kalzium und Kalium Aufnahme vom Klima und Beschattung. *Naturwiss. 53(4):112.*
102a. **Hallsworth, E. G. e D. V. Grawford,** -1965- Experimental Pedology. *Butterworth, London.*
103. **Hanawalt, R. B.** -1969- Influence of environmental factors of the absorption of atmospheric NH_3 by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33(2):231-34.*
104. **Hardy, F. e R. Ranzon,** -1966- The maiz microplot of soil testing. *Turialba, 16(3):267-70.*
105. **Haynes, J. L. e W. R. Robbins,** -1948- Calcium and boron as essential factors in the root environment. *J. Amer. Soc. Agron. 40:795-801.*

106. **Hiatt, A. J.** -1963- Variety differences in potassium uptake by excised roots of *Nicotiana tabacum*. *Plant & Soil. 18:273-76.*
107. **Harris, H. C.** -1973- O efeito de cálcio sobre a qualidade e quantidade da semente de amendoim. *Curso Pós-Grad. Biodin. Solos, Sta. Maria/RS.*
108. **Hernando, V. F.** e **C. Cadahia,** -1973- El análise de savia como indice de fertilización. *Cons. Sup. Invest. Cient. Madrid.*
109. **Hiroce, R.; J. R. Gallo** e **S. Myasaka,** -1969- Análise foliar em feijão de seca. I: Nutrição nitrogenada e potássica. *Bragantia, 28(1):1-7.*
110. - - - - - - - -, -1971- Efeitos da adubação na nutrição e produção de plantas através da análise química foliar. *Lav. Arrozeira, 264:39-41.*
111. **Hoagland, D. R.** e **D. I. Arnon,** -1955- The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Expt. Sata. Circ. 347.*
112. **Homès, M. V. L.** -1963- The method of systematic variations. *Soil Sci. 96:380-86.*
113. - - - - - - - -, -1972- Effect of completely equilibrated fertilizer on the production of plants, cultivated on large scale. *Scient. Varia, 38:469-502.*
114. **Hoyt, P. B.; A. M. F. Hennig** e **J. L. Dobb,** -1967- Reaction of barley and luzerne at liming on solonetz, podzol and gley soils. *Canad. J. Soil Sci. 47:15-21.*
115. **Hudig, J.** -1969- Gedanken Justus v. Liebigs und der heutige Stand der Phosphordüngung. *Bodenkult. 20 (2): 109-30.*
116. **Hyde, A. B.** -1966- Nature of the calcium effect in phosphorus uptake by barley. *Plant & Soil, 24 (2): 328-32.*
117. **Ignatieff, V.** e **O. Lemos,** -1963- Some managment aspects of more important tropical soils. *Soil Sci. 95:243-49.*
118. **Incognito** -1966- A adubação potássica nas zonas de arroz irrigado. *Copercotia, 8:24.*
119. **Jackson, W. A.** e **R. J. Volk,** -1964- Some aspects of mineral nutrition and photosynthesis in higher plants. *VIII Int. Congr. Soil Sci. Abstr. 33-66.*
120. **Jarreiro, M.** e **E. Ortega,** -1968- Fertilización del arroz en el valle del rio Fuertes. *Agr. Tec. (Mex.), 2(8):370-73.*
121. **Jasmin, J. J.; H. R. Herney** e **R. Touchot,** -1964- Enrichment of organic soil in potassium and phosphorus and its influence on potatoe yield. *Canad. J. Soil Sci. 44:280-85.*
122. **Jee, R. C.** e **S. K. De,** -1968- Effect of NH_4 salts on the uptake of phosphates by indian clay minerals. *Plant & Soil, 29:335-37.*
123. **Jesus Vernetti, F.** e **S. Cordeiro Araújo,** -1970- Efeitos de adubos fosfatados sobre a germinação de sementes e sobre a nodulação de soja. *Pesq. agropec. bras. 5:251-54.*
124. **John, M. K.** -1971- Soil properties with influence on phosphorus fixation of seewage. *Canad. J. Soil Sci. 51:315-22.*
125. **Johnson, N. C.** e **J. I. Wear,** -1967- Effect of boron on white clover seed production. *Agron. J. 59(2):205-06.*
126. **Jones, M. B.** e **J. L. Quagliato,** -1970- Resposta de quatro leguminosas tropicais e da alfafa e vários níveis de enxofre. *Pesq. agropec. bras. 5:359-63.*
127. **Jorge, J. A.; H. Gargantini, T. Igue e o.** -1965- Efeito da adubação NPK na produção e no teor de proteína do trigo no Sul do Estado de São Paulo. *Bragantia, 24:457-80.*
128. **Juste, C.** -1966- Beitrag zur Dynamik des Aluminiums in den sauren Böden Südwestfrankreichs. *Ann. Agron. 17:251-341.*
129. **Kalkmann, R. E.** e **C. T. A. Pratini,** -1967- Contribuição à interpretação das análises de potássio em solos do RGS. *Pesq. agropec. bras. 2:263-67.*
130. **Kamprath, E. J.** -1972- citado em **Sanchez, P.**: A review of soil research in tropical Latin America. *Soil Sci. Dept. North Carolina State Univ. Contract AID/csd, 2806, pp 167-82.*
131. **Kanehiro, Y.** -1967- Distribution of total and 0,1 N hidrocloric acid extractable zinc in hawaiian perfils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(2):394-99.*
132. **Karmanov, I. I.** -1966- Changes in tropical soils under agricultural use. *Pochvov. 1:36-48.*
133. **Katalymow, M. W.** -1969- Mikronährstoffe, Mikronährstoffdüngung. *Veb. Dtsch. Landw. Vlg. Berlin.*
134. **Kamano, K.; P. A. Sanchez, M. A. Nureña** e **o.** -1971- Upland rice in the peruvian selva. *Rice breeding Symposium. Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Philipines.*
135. **Kennworthy, A. L.** -1967- Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: Soil testing & Plant analysis, *pp 59-75 Spec. publ. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison.*
136. **Klitsch, C.** -1966- Der Feldfutterbau, *Fischer, Jena.*

137. **Kornilov, M. F. e A. N. Nebolsin,** -1968- Bedingungen die die Wirkung der Kalkung auf sauren Böden bestimmt. *Agrarchemie, 5:62-68.*
138. **Krüger, J. J. I. e O. M. Machado,** -1971- Efeito da calagem, peletização e adubação nitrogenada na nodulação e produção de matéria seca de soja *(Glycine max. L. Merrill.)* em alguns solos do RS. *Reunião de labor. solo, Campinas.*
139. **Kudrin, S. A.** -1966- Average composition of water soluble compounds in some soils of european USSR. *Pochvov. 5:566-71.*
140. **Kirkby, E. A. e P. C. DeKock,** -1965- The influence of age on the cation-anion balance in the leaves of brussel sprouts. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 111(3):197-203.*
141. **Kurnick, A. A.; B. L. Reid** e **J. R. Couch,** -1958- Trace elements in poultry nutrition, a review. *Soil Sci. 85:106-32.*
142. **Laird, J.A.; R. Nuñez, F. Fuente** e **J. Toro, del.** -1969- Manejo de los residuos de la cosecha en un rotación de maíz e trigo en el Bajío. *Secr. Agric. Ganad. (Mexico), Boll. Téc. 37.*
143. **Latzko, F.** -1965- Über die Wirkung des Kalium in der pflanzlichen Atmung. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 111(2):114-22.*
144. **Lee, C. R.** -1971- Influence of aluminium on plant growth and tuber yield of potatoes. *Agron. J. 63:363-64.*
145. **Legget, J. E. e E. Epstein,** -1956- Kinetics of sulphate absorption by barley roots. *Plant Physiol. 31:222-26.*
146. **Lehmann, K. e J. Garz,** -1964- Zur Ernährung mit Kalzium einiger Kulturpflanzen. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 104(1):1-11.*
147. **Leh. H. O.** -1968- Sortenunterschiedliche Anfälligkeit für Bormangel bei Knollenselerie. *Nachr. Bl. Dtsch. Pflanzenschutz, 20:82-83.*
148. **Leverington, K. C. e J. M. Sedl,** -1966- Some factors affecting the soluble phosphorus content of cane juice. *Proc. Queensland Soc. Sugar Cane Techn. 33:121-24.*
149. **Liebig, J. von,** -1843- Die Chemie, in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. *Vieweg, Braunschweig.*
150. **Linville, K. W. e G. E. Smith,** -1971- Nitrate content of soil samples of different depth of corn plots after repeated N fertilization. citado em **Sanchez, P.** 1972: The review of soil research tropical Latin America. *AID/csd, Soil Dpt. North Carolina State Univ.*
151. **Lopez M. Araña,** -1960- Valorisación de las formas de fósforo orgânico y inorgânico de un suelo da la zona cafetera de Colombia. *Ceni-café, 2(7):189-204.*
152. **Lotero, C. J. e S. A. Monsalve,** -1970- Effect of N source and application doses on the chemical properties of soil. *Rev. Inst. Colomb. Agropecuar. 5(3):199-220.*
153. **Lott, W. L. A. C. McClung, R. Vita, de e o.** -1961- A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC, Res. Inst. Bull. 26.*
154. **Machado, D. de Souza** e **R. Hiroce,** -1971- Deficiência de zinco na cultura de arroz (de sequeiro). *Lav. Arroz. XXIV (261):37-44.*
155. **Mahapatra, I. C. e R. Frasad,** -1970- Response of rice to potassium. *Fertil. News, Feb. 34-41.*
156. **Mathab, S.K.; C. L. Godfrey, A. B. Swoboda** e **G. W. Thomas,** -1971- Phosphorus diffusion in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(3):393-97.*
157. **Malavolta, E.; H. P. Haag, F. A. Mello** e **M. O. C. Brasil Sobr.** -1962- On the mineral nutrition of some tropical crops. *Int. Potash Inst. Berne.*
158. - - - - - - - -, -1976- Manual de química agrícola, nutrição de plantas e fertilidade do solo. *Edit. Agron. Ceres, São Paulo.*
159. **Malo, B. A. e E. R. Purvis,** -1964- Soil absorption of atmospheric ammonia. *Soil Sci. 97: 242-44.*
160. **Marinho, M. L. e K. Igue,** -1972- Factors affecting zinc absorption from volcanic ash soils. *Agron. J. 64:3-8.*
161. **Marschner, H. e G. Michaelis,** -1960- Untersuchungen über Sulphatabscheidungen und Sulphataustausch aus Weizenwurzeln. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 91(1):29-36.*
162. - - - - - - - -, e **I. Günther,** -1964- Kaliumabgabe durch die Wurzeln. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 107(2):118-36.*
163. **Massey, B. F. e F. A. Loeffel,** -1967- Factors in interstrain variations in zinc content of maiz kernels. *Agron. J. 59 (3): 214-16.*
164. **Matsusaka, Y. e G. D. Sherman,** -1964- Lime requirement of hawaiian soils. *Hawaii Farm Sci. 13 (3): 180-212.*

165. **McClung, C.; L. M. M. Freitas** e **W. L. Lott,** -1959- Analysis of several brazilian soils in relation to plant response to sulphur. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23 (2): 221-24.*
166. - - - - - - - -, **L. M. M. Freitas, D. S. Mikkelson e o.** -1961- Cotton fertilization on Campo Cerrado Soils, State São Paulo, Brasil. *IBEC Res. Inst. Bull. 27.*
167. **McKee, W. H.** -1970- Chemical properties of a forest soil influenced by overflooding and fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(5):690-93.*
168. **McLean, A. J.; R. I. Halstead, A. R. Mack** e **J. Jasmin,** -1964- Comparision of the procedures for estimating exchange properties and availability of phosphorus and potassium in some eastern canadian organic soils. *Canad. J. Soil Sci. 44:66-75.*
169. **McRae, I. C.** e **T. F. Castro,** -1967- Nitrogen fixation in some tropical rice soils. *Soil Sci. 103:277-80.*
170. **Medcalf, G.; S. Chayen, E. R. Roberts** e **T. G. G. Wilson,** -1954- Nitrogen fixation by soil yeasts. *Nature, 174:841-46.*
171. - - - - - - - -, -1956- Preliminary study on mulching young coffee in Brazil. *Bull. IBEC Res. Inst. 19:1-22.*
172. **Mengel, K.** -1965- Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *2 ed. Fischer, Jena.*
173. - - - - - - - - e **L. C. Braunschweig,** -1972- The effect of soil moisture on the availability of potassium and its influence on the growth of new corn plants. *Soil Sci. 114:142-48.*
174. **Mikkelsen, D.S.; L. M. M. Freitas** e **A. C. McClung,** -1963- Effect of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State São Paulo, Brazil. *IRI Res. Inst. Bull. 29.*
175. **Minotti, P. L.; D. C. Williams** e **W. A. Jackson,** -1968- Influence of calcium and potassium on uptake and reduction of nitrate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(5):692-98.*
176. **Minotti-Bloise, R.; A. Fernando de Castro** e **J. P. Vavra,** -1971- Estudos de calagem conforme a relação de alumínio trocável para bases trocáveis. *XIII Congr. Bras. ciênc. solo, Vitória.*
177. **Miranda, E. R.** e **A. C. Costa Pinto Dias,** -1971- Efeito de saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. *Theobroma, 1(3):33-42.*
178. **Miyasaka, S.; A. Petinelli** e **E. S. Freire,** -1966- Adubação mineral de feijoeiro. IV: Efeitos de NPK, de calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes no Sul do planalto paulista. *Bragantia, 25:385-92.*
179. **Molina, J. S.** e **C. Sauberan,** -1967- Recuperación biológica de suelos. *Tranquieras abiertas, 67:25-8.*
180. **Morelli, M.** -1971- Influencia da calagem no complexo de troca e movimento de cálcio e magnésio em um Andosol de Costa Rica. *Tese, Inst. Int-amer. Cie. Agric. Turrialba.*
181. **Müller, L. E.** -1965- Deficiência de azufre en alguns suelos de Centro America. *Turrialba, 15(3):208-15.*
182. - - - - - - - -, -1974- Curso de fisiologia vegetal, *Pós-Graduação Biodin. Solo, Sta. Maria/RS.*
183. **Mums, D. N.** -1965- Soil acidity and growth of some legumes. *Austral. J. agric. Res. 16: 733-42.*
184. **Murray, G. A.** e **C. S. Cooper,** -1967- Endosperm utilization in relation to cold tolerance of orchard grass seedlings. *Agron. J. 59(3):253-54.*
185. **Mudich, A.** -1967- Effect of trace element bound superphosphate on the resistance of potatoe tuber to *Phytophtora infestans. Acta. Phytopath. 2(4):295-302.*
186. **Muzilli, O.; A. Gravin, F. Munhoz, C. A. Scotti** e **o.** -1969- Interpretação de análise de assistência: Correlação entre as análises dos solos, os ensaios em vasos e os ensaios de campo em milho. *Rev. Esc. Agron. Vet. Paraná. 5(único):7-16.*
187. - - - - - - - -, **R. E. Kalkmann** e **W. Mendes,** -1969- Estudo da correção de acidez dos solos do Estado de Paraná. *Rev. Esc. Agron. Vet. Paraná, 5(1):35-39.*
188. **Myamoto, T.** e **H. Kühn,** -1963- Über den Einfluss von Samen und Wurzelbehandlung auf Mikronährstoffgehalt junger Pflanzen. *Bodenkult. A/14:15-21.*
189. **Natr, L.** -1971- Die Wirkung von Mineralstoffmangel auf die Photosynthese und Transportintensität von verschiedenen Sommergerstensorten. *Rostl. výroba, 17:411-18.*
190. **Nemeryuk, G. Y. e o.** -1965- Stickstoffverluste in Verhältnis zur Düngermenge und Kationen. *Pochvov. 4:378-85.*
191. **Neptune, A. M. L.** -1971- Adubação foliar. *Correio agropec. sept. p 16.*
192. **Normanha, E. S.** -1950- Adubação da mandioca no Estado de São Paulo. *Bragantia, 11: 181-94.*

193. - - - - - - - - e **A. S. Freire,** -1959- Conseqüências de aplicação de adubos minerais em cultura de mandioca. *Bragantia, 27(2):143-54.*
194. **Oliveira Barreto, W.; A. Fernado da Costa** e **J. P. Vavra.** -1971- Estudos sobre calagem em alguns latossóis brasileiros. *XIII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória.*
195. **Oliveira, A.; J. C. Montojos** e **T. Igue,** -1964- Adubação de arroz de sequeiro. I: Avaliação de influência de nitrogênio, fósforo e potássio sobre características de variedades precoces de arroz-de-sequeiro. *Bragantia, 23(8):73-81.*
196. - - - - - - - - -, **J. C. Montojos** e **T. Igue,** -1965- Ensaios preliminares de adubação de arroz-de-sequeiro. II: Cultivar "Pratão". *Bragantia, 24(33):437-46.*
197. - - - - - - - - -, **J. C. Montojos** e **T. Igue,** -1966- Ensaios preliminares de adubação de arroz-de-sequeiro. III: Cultivar "Dourado precoce". *Bragantia, 25(1):1-8.*
198. **Oliveira M. F. J.** e **P. Cabala Rosand,** -1971- O efeito do sombreamento de cacau e a relação de Ca + Mg/K para cacau novo. *Theobroma, 1(3):21-32.*
199. **Oliveira, V.; A. E. Ludwick** e **M.T. Battey,** -1971- Exhaustiv plant absorption and chemical methods in the determination of available potassium in some brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(5):763-67.*
200. **Ozanne, P.B.** e **C.J.Asher,** -1965- The effect of potassium contained in seeds on germination and root development of seedlings in potassium deficient sandy soils. *Austr. J. Agric. Res. 16:773-788.*
201. **Paauw, F. van der,** -1958- Beziehungen zwischen Kaliumbedürftigkeit landwirtschaftlicher Pfanzen und den Wetterverhältnissen. *Kali-Briefe, 6/23.*
202. - - - - - - - - - -, -1959- Auswertung der Bodenuntersuchungen auf Phosphor und Kalium in der Niederlanden. *Landw. Forschg. 12 (Sonderhe ft):86-94.*
203. - - - - - - - - - -, -1968- The omisson of the aspect of soil fertility in relationship of weather to crop yield. *Inst. Bodenvruchtb. Harem, 333-35.*
204. **Palencia, O.** e **J.A.Martini,** -1970- características morfológicas, físicas e químicas de alguns suelos derivados de cenizas volcanicas en Centro America. *Turrialba, 20(3): 325-32.*
205. **Pálfi, G. M.Barkoczi e L.Dészi,** -1966- Blue-Spot-Test as an indication of the irregular amino-acid protein metabolism in rice. *Il Riso XV(4):285-92.*
206. **Paribok, T.A.** -1970- Einfluss von Mangel an Zink und anderen Spurenelementen auf Gehalt und Verwertung von Phosphor durch die Pfanzen. *Agrochemie, 110-116.*
207. **Patella, J.Fr.; L.P.Carvalho** e **M.O.Machado,** -1971- A resistência do trigo à saturação de alumínio. *Reun. anal. Labor. Campinas.*
208. **Paulsen, G.M.** e **O.Rotini,** -1968- Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(1):73-6.*
209. **Paulo Souza, D.M. de** e **J.C. Stengel Ripsolli,** -1971- Efeito da adubação potássica em solos ácidos. *Rev. Esc. Agron. VEt. Paraná, 6:125-29.*
210. **Penny, J.M.** -1965- Ensaios de adubação: adubos em cobertura. *Lav. Arroz. 19(221): 29-31.*
211. **Pleshkov, B.P.** e **M.N.Konfratev,** -1971- Nitrogen compounds in wheat seedlings when nutrient medium was deficient in magnésium and calcium. *Izv. Timiryaz. Sel'skoz. Akad. 6:86-94.*
212. **Pogodina, T.N.** e **L.L.Nikipova,** -1961- Effect of trace elements on increase of yield and chemical composition of broad beans. *Uch. Zap. Petrozav. Gos. Univ. 12(3):3-14.*
213. **Popow, W.J.** -1971- Einfluss der Düngung auf Ertrag und Kornqualität des Sommerweizens bei Bewässerung. *Agrarchemie, 64-7.*
214. **Pratt, P.F.** e **R.Alvahydo,** -1966- Cation exchange characteristics of soils of São Paulo, Brazil. *Pesq. agropec. bras. 1:1-15.*
215. - - - - - - - - - -, **F.F.Peterson e C.S.Holzley,** -1969- Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo (Brazil). *Turrialba, 19(4):491-96.*
216. **Primavesi, A.M.** -1964- La absorción de potasa y tendencia de ser afetados por parasitas en los cultivos agrícolas de las regiones tropicales del Brasil. *Rev. Potasa, 23/1.*
217. - - - - - - - - - - e **A.Primavesi,** -1966- pH Korrektion durch biologische Methoden. *Bodenkult. 17(2):153-59.*
218. - - - - - - - - - - e - - - - - - - - - -, -1967- Wirkung der Saatgutanreicherung mit Spurenelementen. *Bodenkult. 17(2):153-59.*
219. - - - - - - - - - - e - - - - - - - - - -, -1967- Wirkung von Spurenelementen in Abhängigkeit der Sorte bei Getreide und Kartoffeln. *A. Thaer Arch.. 11(3):233-37.*

220. ---------- e ----------, -1967- O efeito de boro em dependência do teor de potássio na cultura de milho. *(Não publicado).*
221. ---------- e ----------, -1968- Maisertrag in Abhängigkeit von Bodenstruktur and Mikronährstoffdüngung. *Bodenkult. 19(4):302-06.*
222. ---------- e ----------, -1969- Einfluss verschiedener Faktoren auf den Knollenertrag von Kartoffeln. *Agrochim. 13(6):478-84.*
223. -------- e --------, -1970- Influência varietal sobre o efeito da adubação nas culturas de arroz e soja. *Imprens. Univ. Sta.Maria, (separata).*
224. ---------- e ----------, -1970- Die Wirkung des Spurenelements Kupfer zu Reis. *Agrochim. 14(5):490-95.*
225. ---------- e ----------, -1970- Sortenbedingte Düngerwirkung bei Reis und Sojabohnen. *Agrochim. 14(4):323-26.*
226. ----------, -1970- Relatório ao Projeto Rondon sobre as pastagens de Roraima.
227. ---------- e A.Primavesi, -1971- Influência da técnica de plantio sobre o rendimento do milho. *Rev. Centro Ciênc. Rur. 1(1):44-58.*
228. ---------- e ----------, -1971- Unterschiedliche Analysenergebnisse bei trockenen und nassen Böden. *Agrochim. 15(4-5):454-60.*
229. ----------, **A.Primavesi** e **C.Veiga,** -1971- Influência dos equilíbrios nutricionais no arroz irrigado, sobre a resistência à brusone *(Piricularia oryzae Cav.). Rev.Centro Ciênc. Rur. 1(2):101-24.*
230. ----------, -1972- Condições ecológicas de Mio-Mio *(Baccharis coridifolia). Relatório de pesquisa à FAPERGS.*
231. ---------- e **A.Primavesi,** -1973- Nitrogen increase in soil by semi-aerobic straw decomposition in presence of P and Ca. *Proc. Nat. Acad. Sci. India, 43(A 1-2):162-69.*
232. ----------, **H.C.Harris** e **A. Primavesi,** -1973- Comparação do efeito de micronutrientes em forma de sais hidrossolúveis e de óxidos silicatados na nutrição do trigo. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta.Maria/RS.*
233. **Primavesi A.** e **A.M.Primavesi,** -1964- Relation von Pflanzenernährung und Pflanzenkrankheiten. *Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 105(1):22-7.*
234. ---------- e **A.M.Primavesi,** -1964- Factors responsible for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa estruturada soils in eastern Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(4):579-80.*
235. ---------- e ----------, -1965- Deficiências minerais em culturas. *Globo, Porto Alegre.*
236. ---------- e ----------, -1964- A biocenose do solo na produção vegetal. *Palotti, Sta.Maria/RS.*
237. ---------- e ----------, -1966- Ursachen unsicherer Resultate der chemischen Düngung, nach chemischen Bodenanalysen durchgeführt. *Bodenkult. 17(1):34-38.*
238. ----------, -1966- Recuperação de solos improdutivos por métodos biológicos. *UNESCO, Monogr. 1:83-96, Montevideo.*
239. ----------, -1967- Organic matter and soil productivity in the tropics and subtropics. *Scient. Varia, 32:653-99.*
240. ---------- e **A.M.Primavesi,** -1971- Konstante Beziehungen der verfügbaren Nährstoffe in verschiedenen Bodenkartierungseinheiten in Rio Grande do Sul. *Agrochim. 15(2):212-27.*
241. ----------, **O.Gressler** e **F.Andrae,** -1971- Estudo da fertilidade de solos do município de Faxinal de Soturno, RS. *XIII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória.*
242. ----------, -1972- Correct fertilizer use in the humid tropics and subtropics and its effect on plant resistance to diseases and crop productivity. *Scient. Varia, 38:139-187.*
243. **Raij, B.van,** e **A.O.Camargo,** -1973- Influência das bases trocáveis e de potássio em colunas de solo. *XIV Cong. bras. ciênc. solo, Sta.Maria.*
244. **Ramirez, C.H.; M.A.Martinez; E.L.Iparry** e **A.Palencia,** -1971- Explotación de la respuesta del trigo a la fertilización con P y K en suelos de las series Quezatenaggo e Tecpan. *Agronomia (Guatemala). 11(1):5-22.*
245. **Reeve, N.G.** e **M.E.Summer,** -1970- Effect of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth in oxisols in Natal. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(2):263-67.*
246. ---------- e **M.E.Summer,** -1970- Lime requirement of Natal oxisols based on exchangeable aluminium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(4):595-98.*
247. **Riccio, O.e O.A.Gavida,** -1972- Respuesta de siete cultivares de arroz *(Oryza sativa L.)* a ocho niveles crescientes de nitrógeno. *Progr. Nac. Arroz (Peru). Inf. téc. 70.*

248. **Rigitano,A.; M.Ramos** e **J.L.Roman,** -1971- Trigo no Sul do Paraná. *Min. Agr. Dept. Pesq. Agropec. Circ. 10.*
249. **Riley, D.** e **S.A.Barber,** -1971- Effect of NH_4 and NO_3 fertilization on P absorption in relation to root induced pH modifications in the root-soil limiar zone. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(2):301-06.*
250. **Ro, W.H.** e **F.K.Hora** -1972- Determination of an aluminium ion as fungitoxine in the soil. *Soil Sci. 113:42-45.*
251. **Röhmer, W.** -1966- Experiment on iron reduction after compacting of shifted loess. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 114(1):101-12.*
252. **Russell, E.W.** -1961- Soil conditions and plant growth. *9 ed Longmans, Green & Co, London.*
253. **Sanchez, P.A.** -1971- Fertilización y manejo del nitrógeno en el cultivo del arroz tropical, citado em: II Coll. Suelos: el uso del nitrógeno en el trópico. *Soc.Colomb. Cien. Suelo, Palmira, pp 43-60.*
254. ---------- e **M.A.Nureña,** -1972- Upland rice improvement under shifting cultivation in the Amazonas bassin of Peru. *N.C. Agr. Exp. Sta.Tech. Bull.*
255. ----------, -1972- The review of soil research in tropical Latin America. *AID/csd 2806, Soil Sci. Dpt. North Carolina State Univ.*
256. **Santana, M.B.M.; F.P.Cabala Rosand** e **F.I.Morais,** -1971- Efeitos da incorporação de doses crescentes de calcário em alguns solos da região cacaueira de Bahia. *Theobroma, 1(2):17-28.*
257. **Sanyasi, L.** -1952- citado em Wrigley, G. 1969, Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*
258. **Scheffer, F.** -1967- Bodenreaktion und Bodeneigenschaften und Pflanzenertrag. *Kali-Briefe, 1/8.*
259. ----------, -1961- Der Stickstoff, *Parey, Berlin.*
260. **Schmid, G.** -1964- Kalzium und die Bodenverarmung. *Bodenkult. 15(3):254-67.*
261. **Schmitt, N.C.** e **H.Gargantini,** -1966- Aplicação de nitrogenio em cobertura em cultura de arroz. *Bragantia, 25(5):57-63.*
262. **Schuh, G.** -1958- Eiweissmangel bei Kindern führt zu geistigen Schäden. *Boden & Gesundh. 61(4):13-25.*
263. **Sharma, M.L.** -1972- By gypsum influenced water movement in unsaturated soils. *Austral. J. Soil Res. 10:25-33.*
264. **Silva Souza L.da, L.Franco Sobral** è **E.J.Alves,** -1973- Efeitos de N,P,K,S e micronutrientes na produção algodoeira. (Cruz das Almas, Bahia). *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta.Maria/RS.*
265. **Silva, N.M.; R.Hiroce** e **M.G.Fuzatto,** -1969- Efeito da adubação sobre o desenvolvimento e produção de variedades paulistas de algodão em latossolo roxo intensamente cultivado . *XII Congr. bras. ciênc. solo. Curitiba.*
266. **Sluijsmans, C.M.J.** -1970- Der Einfluss von Düngermitteln auf den Kalkzustand des Bodens. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 126(2):97-103.*
267. **Soares, W.V.; E.Zoborovsky, G.Naderman** e **E.Gonzales,** -1973- Resultados preliminares de estudo de calcário e fósforo num latossol vermelho escuro fase cerrado. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta.Maria/RS.*
268. **Sorokina, G.I.** -1966- Effect of copper on the yield and tuber quality of potatoes. *Agrochimica, 109-111.*
269. **Spatz, L.F.** e **A.J.Sterges,** -1963- Timing of phosphorus to corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27(5):669-70.*
270. **Sprague, H.B.** -1964- Hunger Signs in Crops, A symposium, *3 ed McKay, New York.*
271. **Steininger, R.A.** e **R.N.Jefferies,** -1956- Effect of micronutrient deficiencies on nicotine formation in tobacco, by water cultures. *Plant physiol. 31:377-82.*
272. **Stengel Ripsolli, J.C.** e **C.Bodziak, Jr.** -1969- Estudo do P residual em ensaios de adubação. *Rev. Ex. Agron. Vet. Paraná, 5 (único):53-7.*
273. **Sudzuki Hillis, F.** -1964- Niveles de cobre en águas de riego del rio Cachapoal. *Agr. Tec. (Chile) 23/24:15-62.*
274. **Syers, J.K.; T.D.Evans, J.D.Willians** e **L.T.Murdock,** -1972- Parameter for the phosphate absorption of representative soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci. 112:267-75.*
275. **Tandon, H.L.S.** -1970- Fluorid extractable Al in soils as an index of the pretention of the soil. *Soil Sci. 209:13-18.*

276. **Thenabadu, M.W.** -1972- Influence of the timing and the quantity of nitrogen fertilization on growth and yield of rice, *Plant &Soil, 36:15-29.*
277. **Thiel, H.** e **A.Fink,** -1973- Ermittlung von Grenzwerten optimaler Kupferversorgung für Hafer und Sommergerste. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 134(2):107-25.*
278. **Thoklai, N.** -1959- Citado em **Mengel K,** 1965, Ernährung und Stoffwechsel der Pfanze. *Fischer, Jena.*
279. **Thornthon, I.** -1965- Nutrient content in rain water in Gambia. *Nature, 205:1025.*
280. **Tölgyesi, G.Y.** -1964- Trace element absorption troubles in monocotyledones caused by mistake in soil melhoration. *Agrokémia Talatj. 13(3):253-61.*
281. **Trüb, E.** -1966- Die Vorrangstellung des Trinkwassers in der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung. *Mtbl. schweiz. Ver. Gas, Wasserfachm. Nº 12.*
282. **Trzcinki, T.** -1962- Note sur le niveau d'accumulation des quelques éléments mineraux dans les feuilles malades des pommiers "Cox's Orange Pippin". *Bull Inst. Agrin. Res. Gembloux, 30:213-20.*
283. **Tucker, B.M.** -1964- The liberation of Al in acid and alcaline soils. *Austral. J. Soil Res. 2:56-66 e 67-75.*
284. **Tuckey, H.B.Jr.;B.A.Mecklenburg** e **J.V.Morgan,** -1965- A mechanism for the leaching of metabolits from foliage. *Int. Atomic. Energ. Ag. Viena, pp 371-85.*
285. ----------, e **H.B.Tuckey Sr.** -1962- The loss of organic and inorganic material by leaching from leaves and other above ground plant parts. *Int. Atomic Ener. Ag. Viena, pp 239-302.*
286. **Turrent, A.** -1970- Aporte de la investigación agronômica en un proyecto para obtener aumentos rapidos de la producción. Citado em: **Cimmyt:** Estratégias para aumentar a productividad agrícola. *Puebla Proy. pp 36-45, (Mexico).*
287. **Ulrich, B.** e **P.K. Khama,** -1968- Schoefield potencial and phosphorus forms in soils. *Geoderma, 2:65-77.*
288. **Vageler, P.** -1933- An introduction to tropical soils. *McMillan, London.*
289. **Valechi, O.; F.Pimentel Gomes,** -1954- Solos incorporados de vinhaça e seu teor de bases. *An. Esc. Sup. Agric. L.Q. 11:135-161.*
290. **Vasconcelos, M.de,** e **L.M.Almeida,** -1966- Adubação química do arroz no Nordeste. *Pesq. agropec. bras. 1:353-56.*
291. **Verona, O.** e **P.Simonart,** -1957- Batteri azotofissatori, eterotrofi. *Pedologie, 7:35-45.*
292. **Vetter, H.** e **W.Teichmann,** -1968- Feldversuche mit gestaffelten Kupfer und Stickstoffgaben in Weser-Ems. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 121(2):97-111.*
293. ---------- e **K. Früchtenicht,** -1972- Besonderheiten der Harnstoffdüngung. *Kali-Briefe, 8/3.*
294. ---------- e ----------, -1973- Aufkalkungsziele bei steigendem Humus und Tongehalt. *Kali-Briefe, 1/7.*
295. **Vielmeyer, P.H.** -1971- Untersuchungen zum Einfluss von Mangan Mangel auf den N-Stoffwechsel bei Buschbohnen mit Hilfe von ^{15}N. *Arch. Acker & Pflanzenb. 15(10): 77-92.*
296. **Voisin, A.** -1966- Leyes cientificas en la aplicación de los abonos. *Tecnos, Madrid.*
297. **Wallace, T.** -1961- The diagnosis of mineral deficiencies in plants, by visual symptoms. *Her Majesty's Stat. off. London.*
298. **Wambecke, P, van** -1970- citado em **Sanchez,** P. 1972, The review of soil research in tropical Latin America, p 139. *Univ. Carolina.*
299. **Watkins, S.H.; R.F.Strand** e o. -1972- Factors influencing ammonia losses from urea applied to north western forest soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(2):354-57.*
300. **Watson, J.P.** -1962- The soil below a termit mount. *J. Soil Sci. 13:46-51.*
301. **Watts, M.; L.Covolo** e **W.Silveira,** -1973- Influência da compactação do solo sobre a disponibilidade de fósforo, em milho. *Curso Pós-Grad. Biodin. Solo, Sta.Maria/RS. (não publicado).*
302. **Welte, E.** e **E.A.Niederbudde,** -1963- Die unterschiedliche Bindungsfestigkeit von fixiertem K und ihre mineralogische Deutung. *Plant & Soil, 18(2):176-90.*
303. **Weir, R.G.** e **A.Hudson,** -1966- Molybdenum deficiency in maize in relation to seed reserves. *Austral. J. Exptl. Ar. Animal husbandry, 6(20):35-41.*
304. **Werne, W.** -1969- Kennzeichen des pflanzenverfügbaren Phosphors nach mehrjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphaten. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 122(1):19-31.*
305. **Westerhoff, H.** -1954/55- Beiträge zur Kupferbestimmung im Boden. *Landw. Forschg. 7:190-93.*

306. **Westin, P.C. e I.G.DeBrito,** -1969- Phosphorus fractions of some venezuelan soils as related to stage of weathering. *Soil Sci. 107:194-202.*
307. **Willimot, S.G. e K.R.M.Anthony,** -1958- The response of *Eleuzine* to different forms of nitrogen fertilizers. *Emp. J. exp. Agric. 26:373-78.*
308. **Wing To Chan e A.F.Mackenzie,** -1972- Effect of shading and nitrogen dosation on corn growth under field conditions. *Plant & Soil 36:59-70.*
309. **Wollert, C.; R.Kickuth e F.Scheffer,** -1964- Phosphorsäure Freisetzung aus Ca, Fe und Al Phosphaten durch Chelatoren aus dem Wurzelraum. *VIII Int. Congr. Soil Sci. Abstr. pp 104-06.*
310. **Wrigley, G.** -1969- Tropical Agriculture, *Faber & Faber, London.*
311. **Yoshida, S.; D.A.Forno e A.Bhadrachahem,** -1971- Zinc deficiency of rice on calcareous and neutral soils of the Philippines. *Soil Sci. & Plant Nutr. 17:83-7.*
312. **Ziegler, G.** -1966- Mineralstoffgehalt bei hohen Mineraldüngergaben zu Kartoffeln. *Tagungsber. Nº 85: Mineralstoffversorgung bei Tier und Pflanze, pp 81-89.*
313. **Primavesi, O.** - 1978 - Adubação foliar: é válida no Brasil? *Granja, 367/8:27-52.*
314. **Trenkel, M. A.Fritz e K.Kummer.** -1976- Experiências acerca de la fertilización foliar. *Rep. Agric. BASF, 4:3-8.*
315. **Sfredo, G.J.** -1976- Efeito das relações entre Ca e Mg sobre o pH, Al^{++}, Ca^{++} e Mg^{++} no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo. *(Sorghum bicolor (L) Moench). Tese MS, Viçosa, MG.*

II

Manejo ecológico del suelo tropical

INTRODUCCION

En los países tropicales la producción agrícola y pastoril es baja aun usando tecnología avanzada.

La capacidad productiva de nuestras plantas de cultivo muchas veces no es baja, pero su potencial genético elevado, rara vez puede ser desarrollado en su plenitud cuando alguno de los factores de producción está bajo.

Cuadro 9.A *Producción agrícola media (kg/ha) en Brasil y en el mundo, y la mayor producción brasileña. (Compilado por* **O. Primavesi,** *1978. Fuentes* **Production Year Book,** *1974* **(FAO); AGIPLAN/MA,** *1976.)*

Cultivo	*En (país) (media mayor)*	*Brasil*	*Sud-sudeste de Brasil*	*Mayor brasileña*
algodón	3.387 (Guatemala)	695	1.318	4.000
maní	3.600 (Israel)	1.638	1.333	3.500
arroz irrig.	6.295 (España)	1.557	3.200	14.000*
poroto	2.685 (Holanda)	619	594	3.500
maíz	7.333 (Nueva Zel.)	1.339	1.804	15.500*
soja	3.000 (Italia)	1.565	1.538	5.500
trigo	5.733 (Holanda)	1.100	1.175	7.000*

Obs.: los mayores rendimientos brasileños fueron alcanzados por miembros de los grupos 4S y otros.
*en áreas de 1 ha.

Se demuestra así que las variedades brasileñas podrían producir, si todos los factores de producción del suelo fuesen buenos. La "ley del mínimo" no sólo es válida para el balance entre los nutrientes, sino para todos los factores de producción, siendo nivelada por el factor menos desarrollado. Se sabe que la productividad de los suelos decrece con los años de cultivo, y esta reducción es más rápida en suelos arenosos en clima ecuatorial, y más lenta en suelos arcillosos en clima subtropical, pero ocurre siempre y ocurrirá mientras sean usadas las actuales técnicas de preparación y cultivo del suelo. El factor que está entrando en el "mínimo" es la estructura activa del suelo, por sufrir compactaciones pronunciadas, como ya se trató en el capítulo 7 (48).

El problema principal es la pérdida de la macroporosidad, que se manifiesta por la mayor densidad aparente, provocando un abastecimiento insuficiente del suelo y de las plantas con aire (oxígeno), y agua, y la reducción drástica del desarrollo radicular (141).

Cuadro 9.B *Modificación de algunas propiedades físicas del suelo debido al cultivo* (**Machado**, *1976*).

Años cultivo	*Materia orgánica*	*Densidad aparente del suelo g/cm³*	*Agregados de 0,5 mm en % del total del suelo* *	*Promedio de infiltración en 9 horas* mm/h
selva	5,8	1,07	91,1	148,1
pastura nativa	3,2	1,33	90,8	119,3
4 años cult.	3,2	1,32	66,0	90,8
8 años cult.	3,1	1,40	58,2	17,4
14 años cult.	2,7	1,55**	63,6	6,6

* tamiz seco, incluyendo todos los agregados estables al agua.
** la densidad 1,60 está tomada como límite, siendo impenetrable para la mayoría de las raíces.

Y, a medida que la infiltración de agua es menor, aumenta el escurrimiento, la erosión, las crecientes y, lógicamente también las sequías, por haber recibido poca agua el suelo. ¡No es el agua que cae del cielo lo que hace crecer a las plantas, es el agua que penetra en el suelo!

Entre nosotros (brasileños), el problema de los nutrientes está prácticamente resuelto, pero faltan las condiciones para que puedan actuar satisfactoriamente. El efecto de los fertilizantes no depende únicamente de su presencia en el suelo, también de su absorción, su equilibrio y su rápida metabolización. Y para eso se necesita agua y oxígeno en el suelo. Pero cuando las raíces encuentran su camino obstaculizado por capas compactadas, no sirven de nada el oxígeno, el agua y los nutrientes en capas que les son inalcanzables (180).

El problema del agua está sujeto al clima, es decir, a la distribución de las lluvias y, a veces, a la irrigación.

El problema del aire nunca fue tratado. Tampoco se trató la penetración radicular.

Por otro lado, combatir las plagas y enfermedades está en la rutina de cualquier agricultor.

Los factores limitantes de la producción en suelos tropicales son la deficiencia de oxígeno en el aire del suelo, de agua y el desarrollo radicular limitado; y estos tres factores poseen un común denominador; el sistema poroso del suelo, es decir, una cantidad suficiente de macroporos, resultado de grumos o agregados mayores que 0,5 mm, estables al agua.

Quien no cuide la biofísica del suelo difícilmente obtendrá lucros satisfactorios en el empleo de las técnicas modernas. Pero quien mantenga su suelo productivo tendrá el lucro esperado.

Capítulo 9

MANEJO DEL SUELO

MANEJO DE LOS SUELOS EN ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES

El cuarenta por ciento del globo terrestre es zona tropical, pero sólo el diez por ciento de esta zona es tierra firme. Aun así, los 45 millones de kilómetros cuadrados de tierra de los trópicos completan un treinta por ciento de la tierra de todo nuestro planeta. Sin embargo, únicamente el diez por ciento de la población mundial vive aquí, pasando hambre, por no conseguir producir lo suficiente para su sustento.

La población de estos países tropicales, pobres y hambrientos, como mínimo se triplicará al llegar al año 2000, mientras que en los países ricos y abastecidos su población ni llegará a duplicarse (170). Aumenta la población mientras que el reducido aumento de la alimentación no acompaña el ritmo de crecimiento demográfico.

En todas las zonas tropicales del mundo se están buscando nuevos caminos para preparar los suelos, pues quedó confirmado que *no es el clima cálido lo que impide una producción adecuada de la tierra, pero sí el manejo equivocado de sus suelos.*

Todos están de acuerdo en que en un clima templado el suelo debe ser expuesto al sol lo máximo posible para recibir un poco más de calor, pues lo necesita. Y todos saben que en clima tropical el suelo debe ser protegido del sol inclemente, para evitar su recalentamiento exagerado (177).

Según este principio, los países en zona templada desarrollaron la preparación y cultivo de sus suelos. Habían recibido las plantas y los métodos de cultivo de las zonas subtropicales donde, antiguamente, florecieron las culturas humanas, por ser allí el clima más placentero y el terreno más fértil y más fácil de cultivar. Durante miles de años el suelo sólo venía siendo abierto con un gancho de madera para aflojarlo y poder plantar la semilla.

Pero eso no era suficiente en la tierra fría de Europa. Aproximadamente 150 años atrás se tuvo la idea salvadora para ese clima: remover el suelo en lugar de aflojarlo. Así se consigue secar más rápido la humedad del deshielo y también se calienta más aprisa, pudiendo ser plantado con mayor éxito en primavera. Se desarrollaron arados de vertedera, y más tarde, de discos, rastras para quebrar los terrones, tractores para arrastrar los arados y las rastras, y finalmente todo ese parque de máquinas sofisticadas para preparar el suelo con rodillos, desterronadoras, cultivadoras, subsoladores, etc. Ahora se aprovechaba mejor el humus, que se descomponía más rápido debido a la aireación y a la captación de más calor. El suelo fue "movilizado" de su fría inercia, su vida se volvió más intensa y su productividad aumentó. La fertilización química permitió el desarrollo de variedades de alto potencial productor con cosechas compensadoras y rendimientos elevados.

Hoy, las zonas templadas, a pesar de su densa población, son tomadas como regiones de superproducción agrícola por haber encontrado las técnicas que permiten producir bien en sus suelos y en su clima.

A los países tropicales se les fue inculcando la idea de su subdesarrollo, porque eran poco industrializados y mecanizados, y no eran ricos como sus hermanos del hemisferio norte, ya que producían menos PBI que ellos. Su agricultura permanece itinerante como en

los tiempos antiguos, y su producción se basa en la recuperación natural de los suelos que abandonan.

Los países ricos, mecanizados y tecnificados, prestaron generosamente su "know how" a los países de zonas cálidas, tal vez pensando que vendían felicidad. Pero en su euforia se olvidaron que las técnicas que "exportaron" eran únicamente útiles para climas fríos y templados. Y cuando las máquinas que habían hecho producir a los suelos fríos, llegaron para trabajar en suelos cálidos, las técnicas para calentar y secar el suelo no mejoraron la producción de los trópicos, por el contrario, crearon desiertos e improductividad en India, en Africa y en Brasil.

Después de dos o tres años de buena producción y de euforia, las cosechas comenzaron a declinar irrevocablemente. Y en India los "ayudantes del desarrollo" comenzaron a huir después de haber destruido en tres años las tierras que habían nutrido al pueblo durante 3.000 años.

El error fundamental está en cómo se considera al suelo en las zonas tropicales. En las templadas, el suelo que no produce casi siempre es pobre en nutrientes en la capa superficial, donde las raíces permanecen concentradas. Pero, en la zona tropical, un suelo que no produce casi siempre está compactado. Es porque la base de su producción reside en el hecho de que las raíces puedan explorar un volumen grande de tierra, alejándose de la superficie insolada, caliente y seca, absorbiendo nutrientes y agua de las capas más profundas. El confinamiento de la raíz a la capa superficial del terreno causa problemas que, finalmente, reducen la producción (7). La exposición al sol beneficia al suelo templado o frío, pero destruye el suelo tropical (ver capítulo 7), reduciendo drásticamente el volumen del suelo enraizado (13).

Se culpó a la mala distribución de las lluvias, a la pobreza de los suelos y al calor del sol. Pero la producción agrícola no depende únicamente de la cantidad y distribución de las lluvias, sino más precisamente del agua que se infiltra en la tierra y que ésta consigue conservar a disposición de las plantas (55). Muchas veces no se hace diferenciación entre la fertilidad y la productividad de un suelo (8), ya que en climas templados, de donde llegan las técnicas agrícolas, la productividad depende en gran parte de la fertilidad, simplemente porque las raíces exploran casi exclusivamente la capa superficial del suelo, donde necesitan encontrar los nutrientes concentrados.

¡El suelo compactado no produce en los trópicos y produce poco en los países templados!

Cuadro 9.1. *Comparación de suelos de alta y baja producción en maní, midiéndose la "resistencia al corte (shearing resistance) en kg/cm² (***Cadima***, 1970/71).*

Horizonte del suelo	*Producción alta del maní*	*Producción baja del maní*
A	0,20 kg/cm²	0,35 kg/cm²
B y C	0,15 kg/cm²	0,50 kg/cm²

Cuanto mayor es la "resistencia al corte", tanto más compactado está el suelo.

El manejo del suelo tiene por principio preparar adecuadamente el lecho para la semilla y mantener el cultivo libre de plantas que puedan concurrir por luz, agua y nutrientes.

Sin embargo, como fue explicado más arriba, eso no es suficiente. En los suelos tropicales se exigen, imperiosamente, medidas para el mantenimiento de su bioestructura y con ellas, se mantienen las condiciones de su productividad.

Se debe diferenciar entre:

La fertilidad del suelo, que está dada por la cantidad de nutrientes disponibles para los vegetales (5, 151), y la ausencia de sustancias tóxicas;

La productividad del suelo, que es la posibilidad de que las plantas aprovechen estos nutrientes, pudiendo absorberlos y metabolizarlos para producir sustancias vegetales y buenas recolecciones. Los factores que influyen negativamente sobre la productividad de los suelos son (66, 100) las costras superficiales, que impiden la circulación libre del aire, las compactaciones y adensamientos que obstaculizan el camino de la raíz, y un régimen hídrico interrumpido. Se necesita entonces el mantenimiento de una estructura grumosa, para permitir la circulación de aire, la infiltración y conservación de agua y el desenvolvimiento libre de las raíces vegetales (126, 131).

En principio, para el mantenimiento de la productividad del suelo es imprescindible:

1. que su bioestructura grumosa sea conservada en la superficie, evitando que sea enterrada al revolver el suelo. Eso se consigue:
   1.1 por una plantación directa que puede ser usada en suelo grumoso;
   1.2 por una arada mínima, que debe ser usada en suelos compactados, con una capa grumosa en su superficie, así como para la mezcla superficial de los restos orgánicos. Generalmente, después de la "arada mínima" se necesita la pasada de un subsolador o pie-de-pato, para romper las compactaciones subsuperficiales;
   1.3 por una arada corriente cuando toda la "tierra arable" está compactada y su peso específico está encima de 1,35. A esta arada debe seguir la implantación de una leguminosa de crecimiento rápido, o una mezcla de forrajeras, para mantener el suelo "abierto" (25). Sin embargo, el mantenimiento de la estructura grumosa no depende sólo de su conservación en la superficie, sino también de un suministro periódico de materia orgánica, para su renovación, como se trató en el cap. 7. Por ello, es indispensable el planeamiento del retorno de la materia orgánica proveniente del cultivo anterior;
2. el retorno de la materia orgánica juntamente con una fertilización fosfocálcica. La fertilización verde no mejora la estructura del suelo, pero lo aprovisiona de nitrógeno orgánico. También se la usa para promover la descomposición de los restos del cultivo anterior (161) en regiones semiáridas.
3. protección de la superficie del suelo contra la insolación directa y el impacto de las lluvias.
   3.1 por una cobertura muerta *(mulch)* proveniente de la paja picada del cultivo anterior, o un cultivo protector;
   3.2 por un espaciamiento menor del cultivo, donde eso es posible;
   3.3 por el uso de cultivos consorciados o cultivos protectores, especialmente cuando el cultivo principal es perenne;
   3.4 por árboles y arbustos de sombreamiento en pasturas y cultivos perennes, que suministren un 30 a 40 % de sombra;
4. mantenimiento de una vida diversificada en el suelo:
   4.1 por la rotación dirigida y planeada de los cultivos, o en cultivos perennes, los cultivos protectores y consorciados;
   4.2 evitando las quemas descontroladas;
   4.3 con una fertilización equilibrada.

Resumen

La fertilidad del suelo depende de los minerales nutritivos y sus equilibrios (relación o proporción), aunque la capacidad de producir cosechas satisfactorias depende de la bioestructura del suelo (8, 127, 132, 143, 155).

Los suelos con bioestructura intacta siempre reaccionan bien al fertilizante (140). Los suelos adensados y compactados, sin estructura grumosa, prácticamente no reaccionan, como muestra la figura 7-22. Aun si las plantas pudiesen absorber los nutrientes suficientes, metabolizarían muy poco por faltarles oxígeno en la zona radicular (ver capítulo 1).

El fertilizante surte tanto más efecto cuanto más baja es la fertilidad del suelo y cuanto mejor es su bioestructura.

En Brasil, el 80 % de los suelos de cultivo sufren limitaciones de uso agrícola por asociar una baja fertilidad (97) a una bioestructura decaída (115). Y en pasturas extensivas no es raro que debido a las capas compactadas se formen grandes charcos con el agua pluvial, inundándose temporariamente los terrenos (123).

El efecto desfavorable de una bioestructura deficiente es agravado por la pobreza de la mayoría de los suelos tropicales, y limitar a las raíces a un espacio reducido de suelo. Se trata de corregirlo mediante la fertilización química, enriqueciendo este espacio reducido que está a disposición de las raíces.

El análisis químico rutinario, abarcando únicamente pH, SMP, K y P junto a la materia orgánica (en São Paulo en lugar de SMP, aluminio intercambiable y calcio + magnesio), difícilmente puede informar otra cosa que no sea la deficiencia aguda de estos elementos, y en el caso del aluminio, su concentración tal vez nociva. Si fuese considerada la textura del suelo, el pH podría dar más información sobre el tenor efectivo en bases, que depende de la saturación de la CTC. Y, cuando se supiese algo sobre la bioestructura o simplemente sobre la densidad aparente del suelo, podría ser calculado el efecto del fertilizante. Si la recomendación considerase las exigencias específicas de las diversas variedades o siembras, el aumento de la producción sería previsible. También el clima local (5, 44) tiene importancia al recomendar la fertilización.

El clima no es un factor aislado: actúa sobre el suelo mediante el agua de lluvia que pueda infiltrarse y la insolación que alcanza la tierra. El suelo grumoso permite la infiltración de mayor cantidad de agua (ver cuadros 7-8 y 9-B) la conserva mejor y, cuando está protegido contra el sol, permanece con temperaturas más suaves (fig. 9-22). En este caso, el calor y la distribución poco regular de las lluvias pierden importancia. En suelo compactado y sin protección superficial, el agua pluvial se escurre en su gran mayoría (ver cuadro 9-B) y la temperatura del suelo puede subir hasta 70° C, de modo que la distribución de las lluvias se torna importantísima y la necesidad de temperaturas más suaves es imperiosa. *Los factores climáticos se vuelven decisivos para la producción en un suelo decaído.*

COMO MANEJAR EL SUELO TROPICAL: SUELO AGRICOLA COMUN PARA CULTIVO DE SECANO

La arada del suelo para movilizarlo, es una técnica común en todos los países. Logra un efecto casi milagroso en los países templados y fríos donde la tierra fría del invierno y mojada por el deshielo, tiene que ser secada y calentada (33, 149).

La fertilización en línea, cerca de la semilla, permite a las plantas absorber nutrientes de una capa de suelo ya calentada por el sol, mientras que el subsuelo todavía está frío y, tal vez hasta tenga hielo, como ocurre en Siberia y parte de Canadá. El escardado, que mantiene el suelo limpio, no sólo elimina la competencia de otras plantas por agua y nutrientes, sino también expone la tierra al sol para captar el máximo de calor que la raíz necesita en primavera y aun en verano, cuando la temperatura del suelo no supera los 14° C. Así, los países templados se tornaron productores de alimentos por excelencia.

Pero en los países tropicales estas técnicas no dieron idénticos resultados. Donde pasa el arado se forman desiertos (69). No solamente en Africa, donde el Sahara avanza año tras año, también en Perú, en Méjico, en la Argentina y en la India... El arado es el implemento agrícola más apropiado para promover la compactación, la erosión, las inundaciones y, consecuentemente, las sequías.

Los cultivos plantados en tierras aradas y escardadas o tratadas con herbicidas, muchas veces nacen desigual y deficientemente (13), como muestra la figura 9-1. ¡La arada correcta es un arte!

Arena blanca en la superficie del suelo es señal de una estructura deshecha.

Fig. 9.1 *Soja plantada en tierra compactada. Muchas semillas no nacieron.*

LA ARADA: CUANDO Y COMO SE USA

Debe aflojar el suelo, eliminar las invasoras y preparar el campo para la semilla.

En los trópicos, la capa "viva" del suelo raramente sobrepasa los 18 cm de profundidad (127) y, cuando el terreno es removido, esta capa grumosa es enterrada (figuras 7-24 y 7-25) y el resultado es un "stand" desigual del cultivo, como muestra la figura 9-2.

La tierra "inerte" es removida a la superficie. Puede ser grumosa, pero no resiste al impacto de las gotas de lluvia, formando una costra superficial y un adensamiento subsuperficial. Los grumos enterrados no se pueden mantener en este ambiente poco ventilado. Los poros existentes entre los grumos son "rellenados" con las partículas finas de arcilla llevadas por el agua hacia adentro del terreno desde la capa superficial estable al agua (ver capítulo 7).

En la arada vale el principio: Nunca arar más profundo que 2 cm abajo de la capa grumosa (ver capítulo 7). Y como la determinación de la profundidad exacta de la arada exige alguna práctica, se debe acostumbrar limitar la arada a 12 hasta 15 cm de profundidad (121). Si existiese la necesidad de una arada más profunda se debe usar un subsolador, cuyo empleo correcto será tratado más adelante.

Como el problema principal es la conservación de la capa grumosa en la superficie del suelo, en la tierra totalmente compactada, con una densidad aparente de 1,35 o más en la superficie, como no hay que conservar los grumos pues no existen, cualquier arada será un éxito (3).

El "punto" de humedad y la profundidad exacta para la arada

El grado de humedad para la arada es muy importante. Si el suelo está demasiado húmedo, el arado empastará la capa en que se desliza, formando el tan famoso "piso-de-

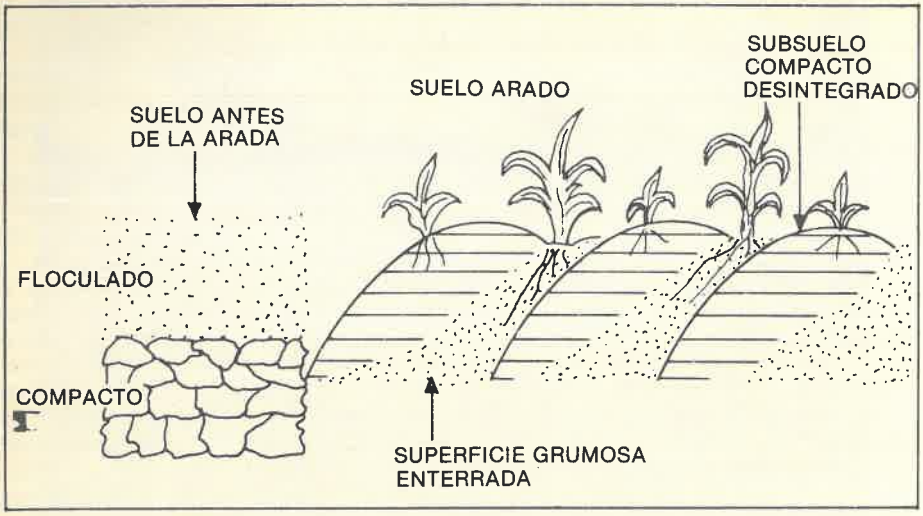


Fig. 9 2 *"Stand" desigual de maíz, como consecuencia de una arada demasiado profunda para este suelo.*

arado", encima de la cual se acumulará una capa compactada. Con ello se restringirá el desarrollo radicular a la capa más superficial del suelo.

La humedad del suelo debe ser comprobada en la profundidad en la que se pretende arar, y nunca en la superficie. Si el suelo está suficientemente seco, difícilmente se formará un "piso-de-arado". Las raíces consiguen penetrar más allá de la capa arada, recuperándola.

Para la recuperación de la capa grumosa se recurre a la arada superficial, mezclando al suelo los rastrojos y la paja del cultivo anterior junto con 250 a 300 kg/ha de fosforita, termofosfato o hiperfosfato (124), para inducir a que surja una microvida capaz de formar grumos estables al agua en la superficie del terreno (99, 127).

En un suelo muy decaído, donde hay poca posibilidad de que un cultivo se desarrolle, se puede tentar la recuperación del suelo fertilizando la flora nativa e incorporando después su paja.

La fertilización verde, incorporada cuando la vegetación está en flor, no sirve para mejorar la bioestructura, sino para enriquecer el suelo en nitrógeno orgánico (ver capítulo 4).

En un suelo decaído la primera arada no es problemática, ya que no hay nada que haya que conservar (grumos). Pero cuando hay ya una capa grumosa en la superficie, la arada nunca debe sobrepasar esta capa grumosa en más de 2 cm hacia abajo.

El arado no debe ser usado para aflojar capas compactadas en la subsuperficie, para eso se usará el subsolador.

Mezclar las dos capas (la grumosa y la compactada) significaría volver a fojas cero. Todo el trabajo de recuperación estaría perdido. Por eso la profundidad de la arada debe ser cuidadosamente planeada y no debe ser hecha según la potencia del tractor o la profundidad de la capa compactada.

Cómo determinar la profundidad de la arada

Existen dos métodos para determinar la profundidad de la arada (ver capítulo 7).

1.Se retira un bloque de tierra con una pala plana y se toma la tierra de la superficie pa-

ra abajo, siempre midiendo la profundidad de las diferentes capas estructurales. Por ej. 2 cm de costra superficial, 6 cm de tierra suelta y grumosa (son 8 cm de profundidad), una capa compactada que se quiebra en bloques con caras lisas (hasta 16 cm de profundidad), una capa dura que se quiebra en láminas, y, abajo, un suelo granulado y grumoso. Para determinar la estructura se necesita tener alguna práctica, no la puede hacer alguien sin experiencia.

2. Se extrae una raíz pivotante, y se determina la estructura del suelo por la forma de la raíz, por ejemplo:
0 - 2 cm sin radículas, 2 - 4 cm con pocas radículas (capa que se recalienta durante el día, más que lo que puede tolerar la raíz);
4 - 8 cm raíz bien desarrollada con abundante cabellera; 8 - 16 cm raíz fina, retorcida, con pocas radículas. A partir de los 16 cm crece paralelamente a la superficie y no penetra más (ver capítulo 2).

La raíz representa fielmente la condición del suelo, y tanto en el punto 1. como en el punto 2. se trata de tierra idéntica.

En el examen de la raíz el problema que surge es que muchas veces presenta un trozo de su parte superior completamente sin radículas y no es por causa de compactación, sino por un recalentamiento muy fuerte de esta capa (ver capítulo 2).

No conviene dejar un campo arado sin vegetación. Generalmente nacen hierbas silvestres después de la primera lluvia de primavera. Pero conviene tener en cuenta esta regla: ¡la plantación debe coincidir con la entrada de las *lluvias regulares*!

Cuadro 9.2 *Epoca de plantación de algodón en diversas regiones de Minas Gerais* (**Buendía,** *1973/74)*

Fecha de plantación	*Mato Verde N. de Minas* rend. kg/ha	*Lavras* rend. kg/ha	*Cachoeira Dourada* rend. kg/ha	*Triángulo Mineiro* rend. kg/ha
octubre: inic.	1.784	2.299	1.885	1.329
mediados	1.917	1.747	1.389	1.110
nov.: inicio	1.551	2.317	403	924
mediados	1.289	2.464	249	1.084
dic.: inicio	726	1.640	404	528
mediados	410	519	93	174

La plantación tardía no solamente está sometida a la *fotosensibilidad* de las plantas, sino también a los *veranicos* y al *empobrecimiento de la tierra*, lixiviada por la lluvia, y a la *compactación del suelo* por la destrucción de los grumos superficiales expuestos al impacto de las gotas de lluvia.

Resultados semejantes al anterior pueden ser obtenidos con otros cultivos en otros estados brasileños, como por ejemplo, con soja en Paraná.

Se comprueba que la mejor época para la plantación, también en la soja, es el comienzo de las lluvias regulares, es decir, entre el 20 de octubre y el 4 de noviembre. Mientras que en Minas, en casi todas las localidades, con excepción de Lavras, la mejor época de plantación para el algodón es octubre. Si la fotosensibilidad fuese la única responsable, no existiría la excepción de Lavras, donde los rendimientos de algodón son buenos con una plantación hecha hasta mediados de noviembre, mientras que en Cachoeira Dourada se pierde la cosecha en forma violenta si se hace la plantación a principios de noviembre.

Según **Wrigley** (1969, pág. 117), las lluvias regulares de la primavera acarrean la pérdida de gran parte de los nutrientes acumulados en la capa superficial del suelo después de la estación seca.

Cuadro 9.3 *Rendimiento en kg/ha de nueve cultivos (sembradíos) de soja, sembrados en cinco épocas diferentes en Londrina, P. R. (***Torres,** *1977/78)*

Cultivos	*Epocas*				
	20/10	04/11	21/11	12/12	23/12
Florida	1.885	1.622	1.428	1.016	992
Bienville	1.397	1.730	1.730	1.189	1.273
Viçosa	1.989	2.016	1.754	1.448	1.237
Hardee	1.274	1793	1.637	1.218	1.296
Santa Rosa	1.909	1.636	1.637	1.558	1.223
IAC-4	2.149	1.852	1.563	1.026	1.230
IAC-2	1.282	1.744	1.208	1.483	1.465
UFV-1	1.479	1.888	1.628	1.278	1.445
Júpiter	1.433	1.575	1.398	1.222	1.320

Cuadro 9.4 *Pérdida de fertilidad natural de un suelo tropical después de tres semanas de lluvias regulares (***Wrigley,** *1969)*

Cultivo	*En % de rendimiento*	
	plantación al comienzo de las lluvias	plantación 3 semanas después comienzo de lluvias
algodón	100	53
maní	100	60

Obs.: la plantación fue hecha sin fertilizantes.

Fig. 9.3a *Suelo agrícola trabajado con rastra y subsolador. La lluvia penetró.*

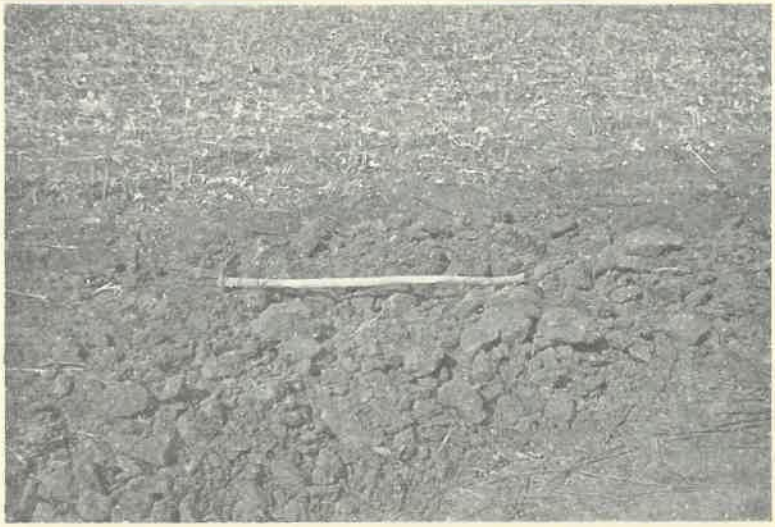


Fig. 9.3b *Suelo agrícola arado hasta 35 cm, haciendo subir los terrones a la superficie.*

Fig. 9.3c *El mismo suelo anterior, después de una lluvia.*

Arada mínima del suelo (133, 136)

En la arada mínima se trabaja toda la superficie del campo, por lo general con rastra pesada, a veces, recortada. En suelo arenoso, eso equivale a una arada; en suelo arcilloso, la pasada de una rastra pesada es capaz de mezclar superficialmente los restos orgánicos.

Este sistema es apropiado en suelos con capa grumosa en la superficie, de unos 6 a 8 cm de profundidad, y una capa compactada inmediatamente debajo. Sin embargo, *nunca*

debe ser hecha la arada mínima sin la posterior subsolación, para romper la compactación subyacente, posibilitando la infiltración de agua en el subsuelo. Sin subsolación, la primera lluvia fuerte cargará toda la capa grumosa de la superficie, ya que el agua penetrará tan sólo hasta donde está el suelo compactado, encima del cual se escurrirá, arrastrará la tierra floculada y la erosión será calamitosa.

El aflojamiento del suelo con subsolador debe ser hecho hasta 30 a 35 cm de profundidad. Las figuras 9-3a, b y c muestran un suelo agrícola común en que la arada mínima es ventajosa. En 9-3a) fue hecha la arada mínima y la subsolación. La lluvia fuerte que cayó después penetró sin dejar rastros. El suelo de 9-3b) fue arado hasta unos 35 cm, subiendo los terrones a la superficie. Después de una lluvia fuerte la superficie se encostró y mucha agua se escurrió (figura 9-3c).

El efecto de la arada es el siguiente:

1. mezclar la tierra inestable del subsuelo con la estable de la superficie o soterrarla debajo de los terrones (figura 9-3b),
2. distribuir la materia orgánica de la capa superior por la capa arable.

Si el suelo tuviese la materia orgánica suficiente, tendría microvida heterótrofa y no se compactaría. Es de suponer que sólo la parte del suelo bien enraizada, grumosa, está provista de la suficiente materia orgánica. Si esta capa tiene un 2,0 % de materia orgánica hasta una profundidad de 6 cm, un removimiento y mezcla de esta capa hasta 30 cm representará su dilución a 0,4 %, lo que es indiscutiblemente mucho menos de lo necesario. Una arada mínima hasta 2 cm por debajo de la capa bien enraizada, haría que el arado "saltase", dejando muchas zonas sin trabajar.

Las figuras 9-4, 9-5 y 9-6 muestran el trabajo del subsolador.

La humedad del suelo en el momento del trabajo determina el éxito o fracaso del cultivo. Por una arada en un suelo demasiado húmedo se produce también una compactación, por las ruedas del tractor. También es un error trágico pensar que el arado de disco no provoca suela-de-arado. Cuanto más rápida es la marcha del tractor, tanto mayor es la fuerza

Fig. 9.4 *Subsolador trabajando en el rastrojo del trigo, preparando el campo para la plantación de soja.*

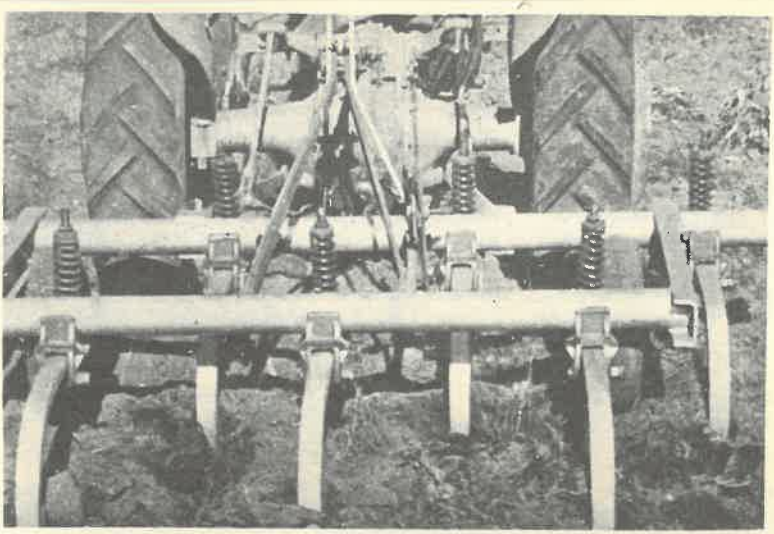


Fig. 9.5 *"Cultivador" para subsolación, aflojando el suelo sin removerlo.*

Fig. 9.6 *Subsolador del tipo "pie-de-pato" usando en Rio Grande do Sul.*

de arrastre, deslizando los discos sobre la superficie de suelo trabajado, empastándolo mucho más que el arado de *aiveca*, ya que el peso es mayor. El agua que se infiltra se ve impedida de penetrar más allá de esta capa, depositando la arcilla que arrastra consigo, proveniente de la destrucción de los agregados superficiales, sobre el horizonte de trabajo.

El punto correcto de humedad para la arada es cuando la tierra se desmigaja con facilidad, sin ensuciar los dedos.

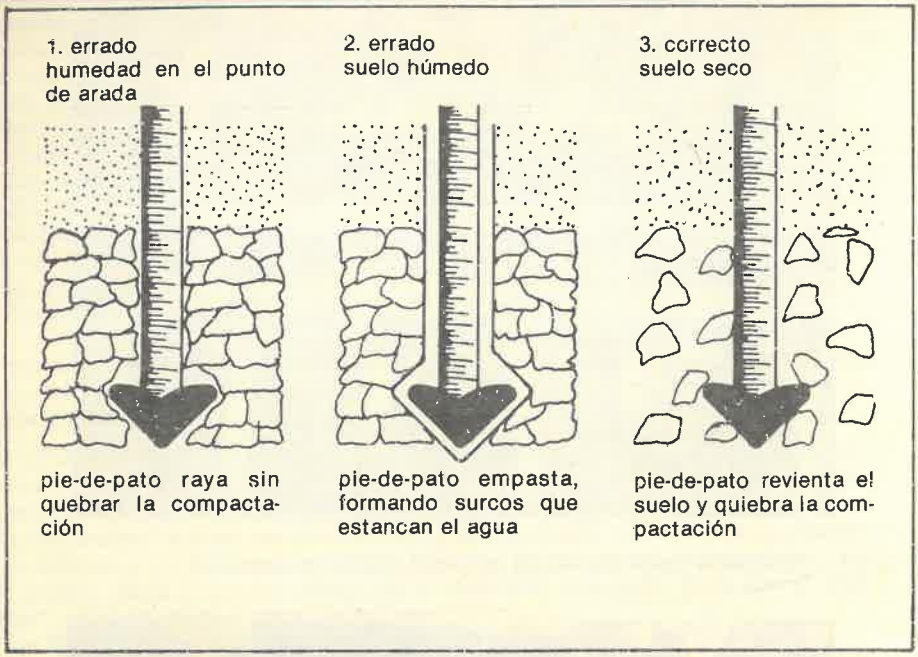


Fig. 9.7 *Efecto del uso del subsolador en suelos con diferente humedad.*

Para el trabajo del subsolador, la tierra tendrá que estar seca. El trabajo hecho en un suelo en el "punto de arada" no es efectivo y hasta puede ser perjudicial. *El subsolador no debe revolver el suelo, sino romperlo. ¡No es suficiente pasar con la máquina por el campo, lo que importa es saber cuándo eso tiene que ser hecho!* (figura 9-7).

Por lo tanto, la preparación de extensas áreas es problemática y depende mucho de los cuidados que el suelo haya recibido en la época de sequía.

El trabajo del pie-de-pato en un suelo completamente compactado no surtirá mucho efecto cuando no está apuntalado con medidas de recuperación. Pero sí da resultados óptimos en suelos secos con capa grumosa en la superficie, contribuyendo allí a la conservación del suelo. Debe ser utilizado donde hay grumos para conservar. En un suelo destruido no consigue hacer milagros.

El trabajo del subsolador o pie-de-pato se destruye con la lluvia si el suelo no es plantado inmediatamente después de la primera lluvia, para que la tierra aflojada y quebrada sea enraizada y mantenida "abierta". En los campos plantados con maíz no sirve de mucho a no ser cuando se planta un cultivo protector entre las líneas. Quien se obstine en plantar cultivos espaciados y escardados después de una subsolación, como caña de azúcar, algodón o maíz, quedará decepcionado en los años lluviosos y obtendrá algún resultado en los años secos. La subsolación tiene el efecto esperado cuando las raíces del cultivo fueron capaces de entrar rápidamente en las grietas abiertas, eliminando definitivamente las compactaciones.

En un suelo húmedo es mejor no usar el pie-de-pato, porque aparte de "rayar" el suelo no hace otra cosa que empastar las paredes de los surcos, de modo que el agua se estanca. La semilla plantada en estas canaletas se pudre invariablemente (figura 9-7).

En un suelo a "punto de arada" el subsolador solamente raya, sin hacer el trabajo de romper la compactación. En un suelo seco elimina los "pans" o lajas (pisos-de-arado).

LA PLANTACION DIRECTA (P.D.)

Para escapar del exceso de mecanización y mantener la capa grumosa en la superficie, se introdujo el sembrado o plantación directa (153). La EMBRAPA hizo diversas experiencias en la Estación Experimental de Londrina, con trigo, mostrándose uno de los resultados en el cuadro siguiente.

Cuadro 9.5 *Efecto del sistema de la preparación del suelo sobre el rendimiento del cultivo de trigo en Latosolo roxo, años 1971 y 1973*

Sistema de preparación	*Rendimiento kg/ha*	
	1971	1973
convencional	1.213	1.888
mínimo (dos pasadas de rastra)	1.340	2.045
plantación directa	1.400	1.800

Se comprueba que la distribución de las lluvias influye menos sobre el cultivo cuando se usa el sembrado directo. Las recolecciones no son mucho más altas, pero sí más estables y continuas, con menos oscilaciones y riesgos.

Pero *en la siembra directa se trata de conservar la bioestructura del suelo. Si el suelo está compactado, no surte efecto,* por el contrario, es mucho peor que la plantación convencional (3).

Pero *cuando el suelo es grumoso*, la plantación directa *consigue conservar* su bioestructura y su vida, y con eso, *su productividad.*

Dicen los ecologistas (46) que el suelo virgen sería más productivo por haber conservado su micro y mesovida (43, 46) y su bioestructura, como muestra el cuadro 9-6.

Cuadro 9.6 *Diferencia de densidad, humedad y porosidad en los diversos sistemas de plantación, en el suelo de la unidad Sto. Angelo, a una profundidad de 0 - 15 cm* (**Machado**, *1976)*

Tratamiento	*Mat. org.* %	*Densidad aparente* g/cm³	*Humedad nat.* % vol.	*Porosidad*	
				total	macropor.
suelo de mato	4,4	1,20	33,3	57,0	20,4
suelo de campo	3,4	1,24	33,0	55,6	14,4
plant. directa	3,4	1,21	37,3	54,7	14,3
plant. convenc.	1,5	1,35	37,4	49,4	6,9

Es evidente que la diferencia mayor está en la macroporosidad del suelo, es decir, su aireación y la facilidad de infiltración de agua. La ventilación de la raíz forzosamente es menor cuando los poros de ventilación disminuyen, y eso se refleja no solamente en el metabolismo vegetal sino también en la disponibilidad de los nutrientes. Y, al disminuir los poros grandes, de los cuales el agua se drena por gravedad, se dificulta la infiltración de agua en el suelo.

En la plantación directa la disponibilidad de los nutrientes puede ser mayor que en una plantación convencional, simplemente porque en suelo compactado la disponibilidad disminuye.

Cuadro 9.7 *Resultados de la determinación química del suelo de la unidad Sto. Angelo, sometido a cuatro tratamientos (promedio de 6 repeticiones)* (**Machado**, *1976*)

Tratamiento 0-15 cm	pH	P ppm	K e.mg	M.O. %	Ca e.mg	Mg e.mg	S e.mg	A. e.mg	V %
mato	5,3	3,3	0,30	4,4	9,31	2,90	12,56	0,16	61
campo	5,0	1,5	0,45	3,4	1,94	2,33	4,75	1,13	35
plantación directa	5,3	16,5	0,25	3,4	5,25	4,20	9,74	0,27	57
plantación convencional	4,3	8,4	0,10	1,5	1,35	1,36	2,83	2,46	21

En un campo con plantación directa impresionó la cantidad de lombrices que no fueron inoculadas ni criadas. Y, en el año 1977, cuando fracasó la cosecha de trigo en muchas regiones de Rio Grande do Sul, en los campos con plantación directa se recogieron 15 a 18 bolsas sacos por hectárea (900 a 1080 kg), lo que se sitúa dentro del promedio de la región.

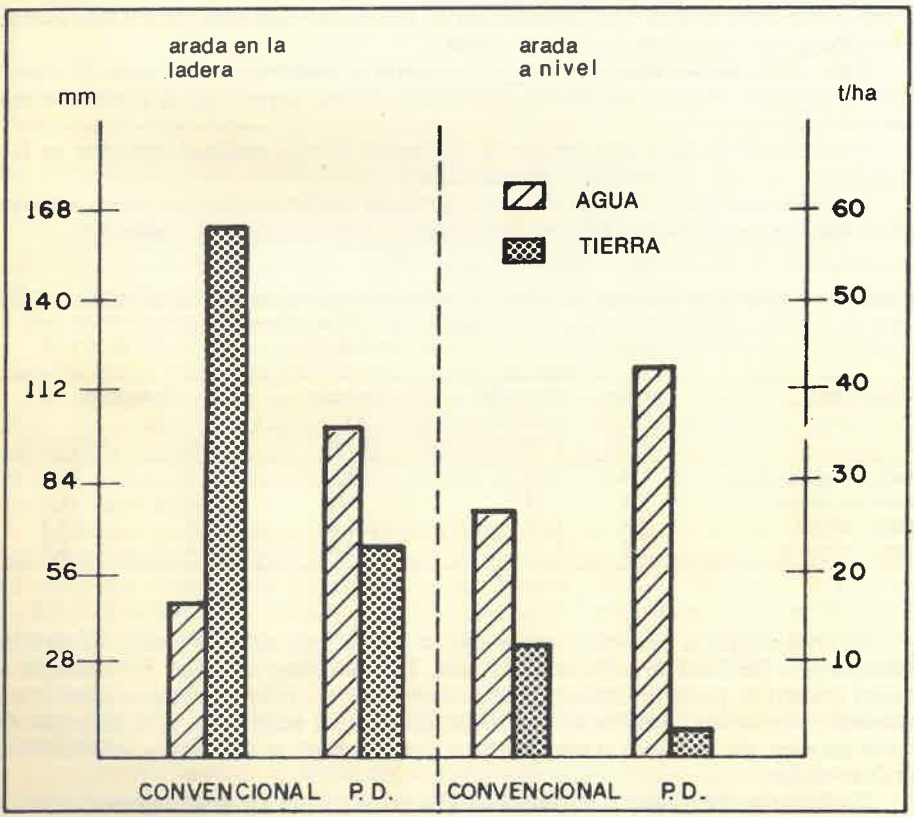


Fig. 9.8 *Infiltración de agua y pérdida de tierra por erosión en el sistema de plantación directa y convencional* (**Mannering**, *1975*).

Sin embargo, *la plantación directa no funciona satisfactoriamente cuando el terreno no fue protegido por una cobertura muerta o vegetal.* Porque la cobertura muerta facilita la infiltración, mantiene el suelo más húmedo y más fresco, como se mostrará más adelante cuando se trate especialmente la cobertura muerta.

En un suelo con plantación directa, cuando es grumoso y tiene cobertura muerta, la infiltración de agua es mayor que en un campo con plantación convencional, y la pérdida de tierra por erosión es casi nula, como muestra la figura 9-8.

Machado (86) presenta para la plantación directa de trigo y soja los siguientes datos:

Cuadro 9.8 *Resultados de la determinación de la capacidad de infiltración del suelo, en la unidad Sto. Angelo, en condiciones de mato, campo virgen, plantación directa y convencional (promedio de 6 repeticiones)* (**Machado**, *1976)*

Tiempo (horas)	*Tratamientos*			
	Mato	Campo	Plantación directa	Plantación convencional
	mm	mm	mm	mm
1°	136,8	96,1	113,1	48,0
2°	92,9	66,3	78,9	33,0
3°	82,6	63,0	74,5	31,5
4°	82,0	52,7	62,7	25,5
5°	77,0	51,8	61,0	24,0
6°	75,0	46,7	54,8	23,0
7°	73,0	44,2	51,5	22,0
8°	73,0	42,5	50,4	21,0
9°	72,3	41,6	49,5	20,5
promedio del total de infiltración por hora	84,9	56,1	66,3	27,6

A través de este cuadro se comprueba que la infiltración es mejor en el mato, razón por la cual se conservan los matos en las cabeceras de los manantiales. La infiltración es buena en pastura nativa y como ya constatamos es tan buena que existe muy poca erosión. Pero, en los campos agrícolas, la infiltración es sólo la mitad de la del campo nativo, razón por la cual existe erosión, inundaciones y sequía en zonas intensamente cultivadas. En la siembra directa la infiltración es superior a la del campo nativo. La restricción es: en *siembra directa* el suelo debe ser granulado al iniciarse este sistema de siembra, puesto que él *conserva la estructura existente.* Cuando esta estructura no es buena, este sistema apenas consigue mejorar el suelo lentamente.

El mayor problema en la plantación directa es la limpieza del terreno.

Existen aquí tres modalidades:

1. una cobertura muerta producida:
   1.1 por la paja picada del cultivo anterior,
   1.2 por la remoción de la vegetación nativa con azada, usándola como cobertura muerta;
2. la remoción de los restos del cultivo anterior por medio del fuego y el uso de herbicidas para mantener el suelo limpio;
3. la plantación de un cultivo protector, implantando el cultivo principal cuando se trata de tierra de cultivo.

La primera opción se usa en Rio Grande do Sul, donde la soja está siendo implantada en la paja picada del trigo, como muestran las figuras 9-9 y 9-10. Este sistema, sin la menor

duda, es el más ventajoso. El suelo cubierto por la paja puede ser plantado independientemente de las lluvias, porque permanece húmedo. No ofrece la posibilidad de que nazcan invasoras, y cuando la paja se descompone, el cultivo "cierra" el suelo.

Fig. 9.9 *Recolección de trigo con picador de paja montado en la cosechadora, siguiendo a esta plantación la de soja, realizada en fajas alternadamente subsoladas y con plantación directa.*

Fig. 9.10 *Plantación directa de soja en el rastrojo de trigo (gentileza de* **Machado,** *1976).*

La segunda opción es la más desfavorable y la más cara. Generalmente el uso del herbicida encarece sobremanera el cultivo, de modo que las cosechas, algo más bajas que en la tierra labrada, no compensan el método.

En un suelo que se ha mantenido limpio, la plantación directa rara vez tiene ventajas, a no ser en años con muy buena distribución de lluvia.

La tercera opción normalmente exige la pasada de una rastra y la implantación de un cultivo protector, como por ejemplo: guandú (*Cajanus indicus*), poroto-de-puerco (*Canavalia ensiformis*), o soja para el cultivo de maíz. Al nacimiento del cultivo protector sigue la implantación del cultivo principal con una sembradora apropiada.

Se hace hincapié en el hecho de que la siembra directa, usada por los indios brasileños, quemándose los rastrojos e implantando el cultivo en cuevas u hoyos, facilita la destrucción de las tierras. Las razones son: no hay retorno de materia orgánica (se quema), y se mantiene un suelo desnudo y desprotegido. No importa si la limpieza del suelo fue hecha por el fuego o por herbicidas, el efecto es semejante.

La siembra directa funciona siempre, cuando:

1. hay retorno periódico de materia orgánica al suelo;
2. la superficie del suelo está protegida por una cobertura muerta o un cultivo protector.

La plantación directa no es simplemente la omisión de la arada, es también una técnica completa que pretende conservar la estructura grumosa del suelo en su superficie. Para eso se recurre al sistema de no remover la tierra, de aplicar periódicamente materia orgánica junto con los fertilizantes necesarios y la protección de esta estructura grumosa contra el impacto de las lluvias y la insolación directa.

La omisión de uno de estos tres ítem, generalmente provoca el fracaso de la técnica.

Con el suelo desprotegido, la plantación directa es tan dependiente de la distribución de las lluvias y de las temperaturas como la plantación convencional y, muchas veces, es menos favorable.

En un suelo compactado, con una densidad específica encima de 1,35 g/cm^3, no funciona.

Surge pues el problema: ¿cómo conoce el agricultor un suelo adecuado o inapto para la plantación directa?

Indices de un suelo decadente, compactado, impropio para la plantación directa

Es difícil que cada agricultor interprete correctamente la estructura o la formación de una raíz. Pero es más fácil observar el suelo mientras se lo está arando. En épocas secas o lluviosas, y por otro lado, verificar la frecuencia de las crecidas en los ríos.

Se distinguen prácticamente tres estados estructurales del suelo de cultivo:

1. el suelo completamente compactado, que no reacciona más al fertilizante, es muy sensible a la distribución de las lluvias y, normalmente, se lo abandona para su recuperación bajo una vegetación nativa;
2. el suelo con una capa grumosa en la superficie y una compactación más o menos profunda inmediatamente por debajo de ésta. Es el suelo de cultivo más comúnmente encontrado (13, 125, 126, 133);
3. el suelo enteramente grumoso que existe en zonas recién desmontadas o pasturas nativas removidas, cuando no sufrieron superpastoreo.

Estas alternativas son presentadas en la figura 9-11.

El efecto de los cultivos sobre el suelo es diverso y depende, esencialmente, de su sistema radicular y del espaciamiento con el consiguiente "cerramiento" del cultivo.

Marques da el siguiente cuadro referido al efecto del cultivo sobre el suelo:

Cuadro 9.9 *Efecto del tipo de cultivo sobre la pérdida de agua y tierra en terreno con 8,5 a 12,8% de declive (***Marques,** *1961).*

Cultivo	*Agua de lluvia escurrida, %*	*Tierra erosionada t/ha*	*% de la tierra perdida*
mamona	12,0	10,3	100
poroto	11,1	9,7	92
madioca	11,2	8,5	83
maní	9,2	6,8	64
arroz	11,1	6,2	60
algodón	9,9	6,2	60
soja	7,6	5,6	48
papa	6,6	4,7	44
caña de azúcar	4,2	3,1	30
maíz	5,0	3,0	29
maíz-poroto	4,5	3,0	24
batata	4,0	1,6	16

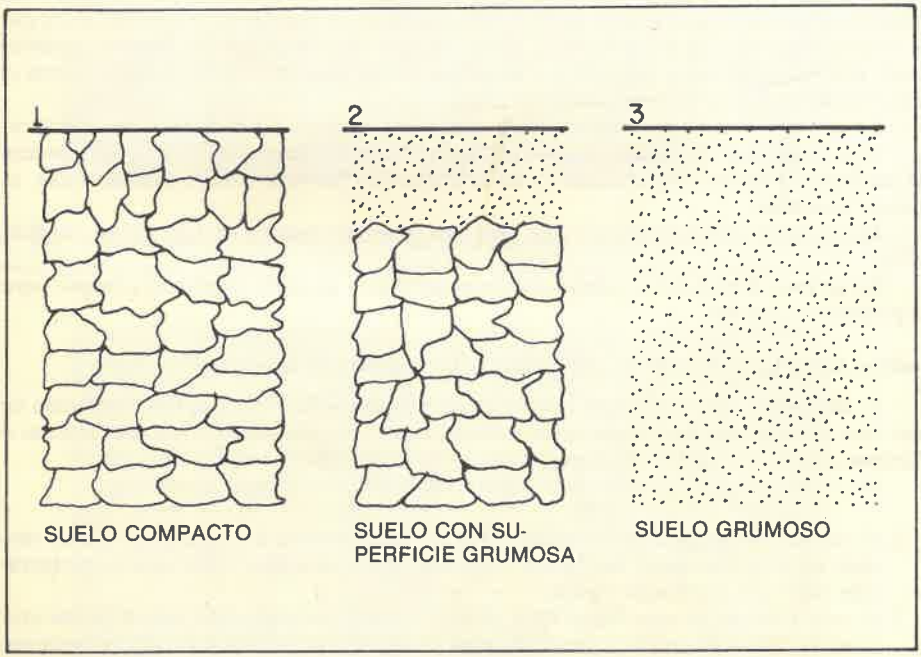


Fig. 9.11 *Las tres alternativas estructurales de un suelo de cultivo.*

Estos datos sufren modificaciones según la velocidad del crecimiento del cultivo, su espaciamiento, la época de la plantación y la intensidad de lluvia al comienzo de la vegetación. Se presume que la plantación siempre fue hecha en contorno. La protección deficiente del suelo permite su compactación y la erosión del mismo.

Un suelo adensado o compactado es un suelo que cae en terrones cuando es arado. Y cuando estos terrones son desterronados por las máquinas, se convierten en polvo, nunca

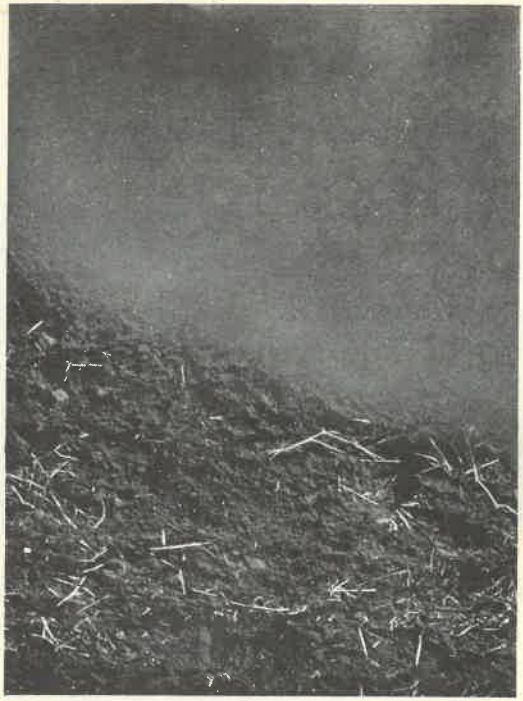


Fig. 9.12 *En tierra con estructura decaída, la rastra levanta nubes de polvo.*

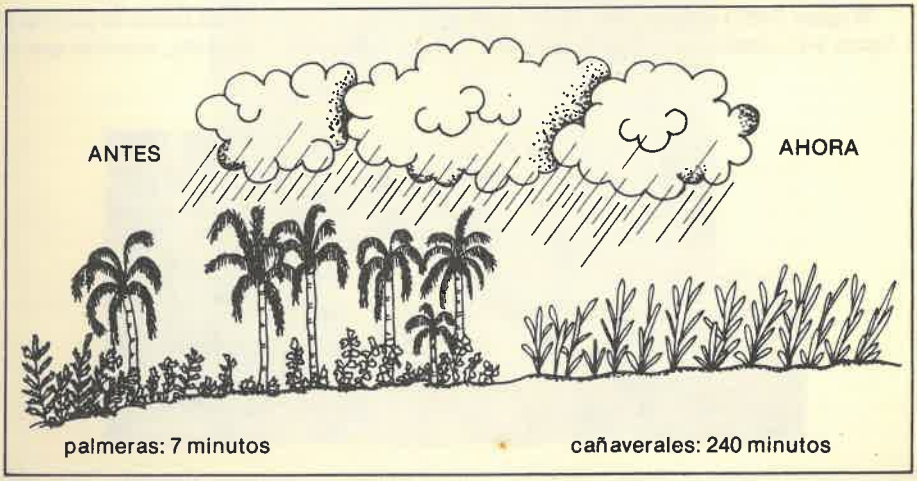


Fig. 9.13 *Infiltración de agua en suelos nativo y rastrillado* (**Wagner**, *1953*).

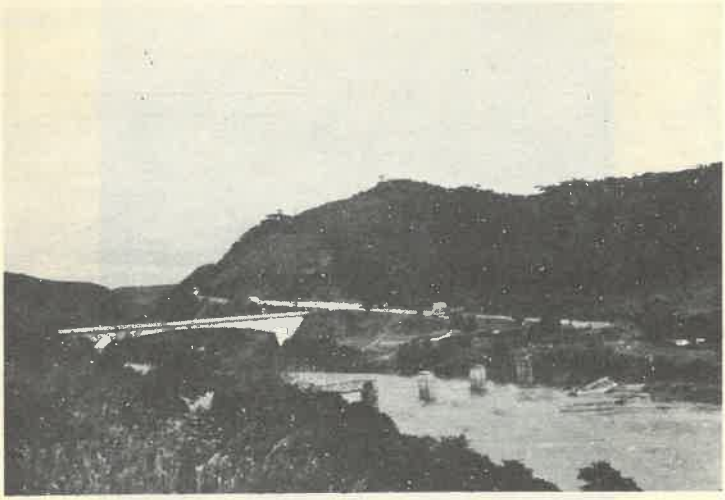


Fig. 9.14 *Al frente, antiguo puente arrastrado por las crecientes. Al fondo, el puente nuevo, mucho más alto, indicando hasta dónde suben las aguas.*

se desmigajan como grumos. Por lo tanto, la rastra que trabaja en un campo compactado va levantando una densa nube de polvo, como muestra la figura 9-12.

Este suelo se encostra con la primera lluvia más o menos fuerte y presenta enseguida las "corridas" o zanjones de la erosión. Aunque esté bien preparado, el agua se infiltra con dificultad (figuras 7-25, 7-26 y 7-27). En estas regiones, los puentes sobre los ríos son altos y parecen exagerados. Pero si fuesen bajos y angostos, como parece necesitar el río en la estación seca, serían arrastrados por la fuerza de las aguas en la estación de las lluvias. Por lo tanto, el tamaño de los puentes se relaciona directamente con el volumen de agua en las crecientes, lo que es decir, con la poca capacidad de infiltración de agua en el suelo.

Wagner (1953) muestra este efecto de la poca permeabilidad de los suelos de cultivo en la figura 9-13 donde, en un suelo nativo el agua se infiltra en 7 minutos, mientras que en

Fig. 9.15 *A medida que el suelo se va compactando, las raíces se tornan superficiales, susceptibles a la sequía, y sufren la pobreza del terreno, por explorar sólo la capa superior.*

uno escardado o rastrillado, la misma cantidad de agua demora 240 minutos, como ya se mencionó en el capítulo 7.

En la Amazonia, antes de que se desmontaran grandes extensiones de selva, los puentes pasaban bien cerca de la superficie de los canales, ahora, fueron llevados por las aguas que crecen. La figura 9-14 muestra el puente sobre el "Paso de las Tropas", en la frontera entre Rio Grande do Sul y Sta. Catarina. Con las labranzas comenzaron las crecientes e inundaciones.

El suelo compactado se raja con la sequía, si es arcilloso, como muestran las figuras 7-27 y 7-28, y como fue tratado en el capítulo 7. Recordemos que ¡un suelo rajado es un suelo poco productivo! En estos suelos la raíz se puede desarrollar muy poco, como muestra la figura 9-15 con una planta de capim-colonial, cuya raíz estaba confinada a la capa superficial del suelo, razón de la decadencia de estas pasturas. Y si la raíz consigue penetrar en el suelo en épocas lluviosas, siempre será retorcida, de poca longitud, con pocas radículas y dando vueltas en poca profundidad, como muestra la figura 9-16 en una raíz de soja.

Resumen

Se reconoce un suelo poco productivo, con escasa respuesta a la fertilización por:

1. los terrones que el arado lleva a la superficie y que se deshacen en polvo cuando son desterronados;
2. la polvareda que las máquinas agrícolas van levantando;

Fig. 9.16 *Donde el suelo está compactado la raíz es retorcida. Cuando se traba en capas laminares, que no pueden atravesar, dobla hacia los costados.*

3. las grietas y rajaduras que se abren después de algunos días de sol (en suelo arcilloso);
4. las raíces retorcidas, afinándose o doblando bruscamente;
5. la erosión;
6. la altura de los puentes en la región.

MODOS DE DESMONTAR Y SU EFECTO SOBRE EL SUELO

No sólo el cultivo provoca la decadencia del suelo cuando está hecho de manera convencional. Muchas veces la manera de desmontar y limpiar el terreno ya "colabora" en la destrucción de su productividad.

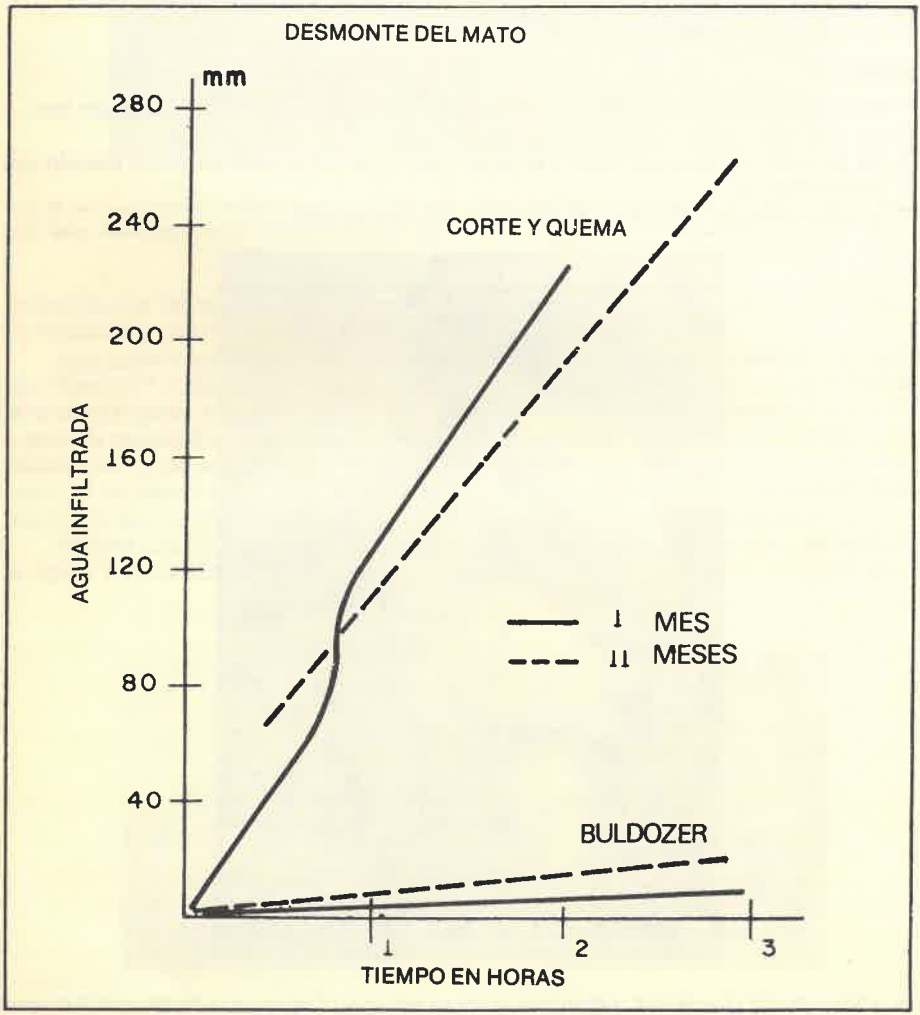


Fig. 9.17 *Comparación del efecto del desmonte y quema con la selva virgen por el buldozer* (**Sánchez**, *1973*).

Tanto en el "cerrado" como en la mata amazónica se emplean dos métodos de desmonte:

1. derribar los árboles y otra vegetación quemándolos en el lugar,
2. arrancar la vegetación con buldozer (caterpiler diesel).

No hay duda de que el buldozer deja el terreno mucho más limpio y en condiciones más favorables para pasar posteriormente las máquinas, pero raspa y levanta la capa humosa de la superficie del suelo, mezclándola y arrastrándola junto con los troncos, gajos y raíces. El efecto de estos métodos sobre el suelo y su productividad, se muestra en la figura 9-17.

Pero el raspado del suelo productivo y la compactación producida por el peso y el intenso movimiento del buldozer, no sólo baja sensiblemente la infiltración de agua (1,5 cm contra 28 cm en la limpieza tradicional del terreno), sino que también modifica la disponibilidad de los nutrientes, que es mucho más baja en el suelo limpio por máquina, según se muestra en la figura 9-18.

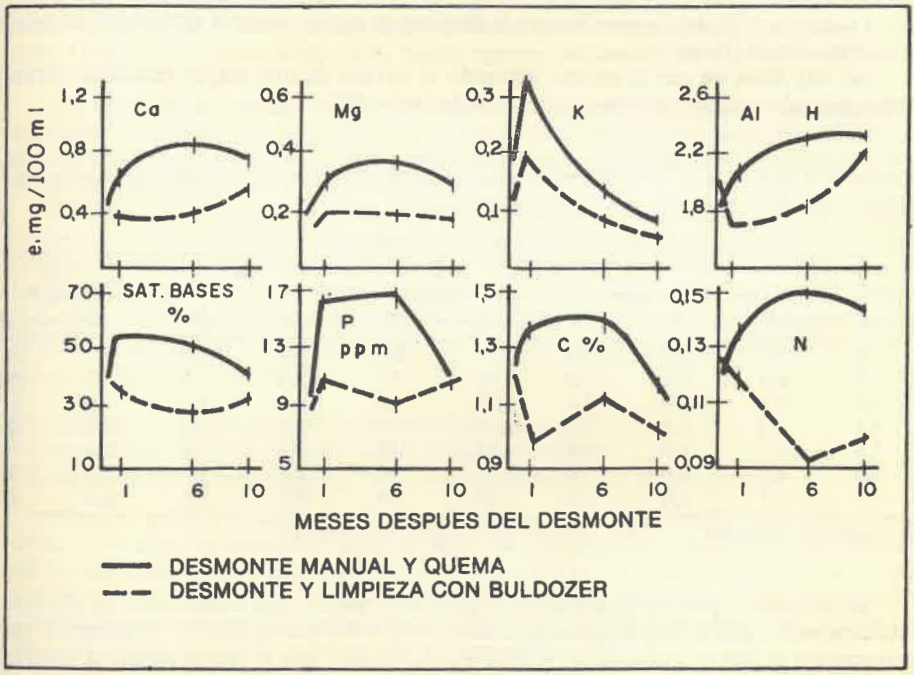


Fig. 9.18 *Comparación de la disponibilidad de nutrientes, saturación en bases y materia orgánica en los dos sistemas de limpieza del terreno* (**Sánchez**, *1973*).

Sólo después de un año existe una cierta tendencia de aproximación de los valores, pero no tanto por el mejoramiento del suelo limpio por buldozer, sino por la decadencia por uso del suelo que había sido limpiado a fuego.

Los rendimientos de los cultivos revelan esta diferencia. Mientras en el suelo quemado la primera cosecha puede ser hecha sin fertilizantes, en el que fue limpiado a buldozer se necesitan imprescindiblemente abonos que, en la región amazónica, por ahora, son caros y difíciles.

Cuadro 9.10 *Rendimiento en t/ha de cultivos plantados en terrenos limpiados a fuego y a buldozer* (**Sánchez**, *1973*)

Cultivo	*Fertilizante*	*Desmonte y quema*	*Desmonte a buldozer*
arroz	—	1,8	1,0
arroz	N	3,2	2,1
mandioca	—	22,0	10,1
mandioca	Ca y NPK	34,2	32,0
maíz	—	0,536	0,038
maíz	Ca y NPK	0,701	0,370
kudzú	—	10,4	4,7
"colonião"	—	7,24	4,45

La quema

La quema es la técnica común para la limpieza de pastos, campos agrícolas y desmonte de campo virgen (roca).

No hay duda de que la ceniza, agregada al terreno da una mayor fertilidad durante uno o dos años, según la zona y la textura del suelo (85).

Cuadro 9.11 *Modificación del pH y del tenor en cationes del suelo, por la quema de un área recién desmontada, muestreo de 0 - 20 cm* (**Nascimento**, *1971*)

pH		*P* ppm		*K* ppm		*Ca* e,mg %		*Al* e,mg %	
A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
3,8	4,8	3,0	3,0	31	121	0,3	1,6	1,7	0,5
3,9	4,4	3.0	3,0	23	90	0,4	1,0	1,7	0,9
3,9	4,6	2,0	3,0	27	66	0,3	1,4	1,8	0,7
4,1	4,4	2,0	3,0	23	59	0,3	1,1	1,2	0,7
3,9	6,7	3,0	12,0	16	248	0,2	1,9	0,6	0,0
3,6	4,3	2,0	3,0	15	90	0,3	1,2	2,1	0,7
3,7	4,3	2,0	3,0	23	90	0,5	1,2	2,1	0,7

A = antes de la quema B = después de la quema (con ceniza)

Se demuestra que hay un aumento de potasio y calcio y una disminución de aluminio intercambiable, por la ceniza agregada al suelo. El fósforo prácticamente no aumentó, permaneciendo el factor limitante de la vegetación. Se sabe que la ceniza aumenta especialmente los cationes del suelo y muy pocos aniones, pues se volatilizan por el calor del fuego.

Después de un año este aumento desaparece. Los cationes aumentados por la ceniza fueron lixiviados (115) y el suelo se presenta más pobre que antes de la quema (104, 115).

En la región de la mata amazónica la cantidad de cationes aumentados al suelo por la quema está calculada en un 66 % de K, 58 % de Ca y 49 % de Na (130). Según otros autores, la ceniza agrega a la superficie del suelo 5,3 t/ha de Ca, 0,7 t/ha de Mg y 1,6 t/ha de K (107, 115, 176), enriqueciéndola en bases hasta un 200 % (43, 123).

Si hay nitratos lixiviados, para horizontes más bajos del perfil, pueden subir a la superficie por el calor del fuego, enriqueciéndola con nitrógeno, lo que a veces se atribuye simplemente a la quema. Las cenizas no pueden enriquecer el suelo con nitrógeno, porque éste se volatiliza con el calor. Unicamente cationes como el calcio, magnesio, potasio, so-

Cuadro 9.12 *Análisis del suelo de mato en pie, del desmonte quemado, y un año después con pastura implantada* (**Municipio de Paragominas**, *Pará*)

Situación	*pH*	*P* ppm	*K* ppm	*Ca* e.me %	*Al* e.mg %
mata virgen	5,1	15	138	2,0	0,2
mata desmontada y quemada	7,1	96	616	8,2	0,0
pastura 1 año después de la quema	5,5	7	74	5,0	0,1

dio y otros pueden aparecer en la ceniza y, en pequeña cantidad, tal vez un poco de fósforo (115, 160).

El crecimiento vegetal en el primer año después del desmonte por fuego generalmente es vigoroso. Sin embargo las cosechas decaen rápidamente y rara vez se llega a una tercera recolección en esta región (176), sin que sea necesaria una fertilización y técnicas de mejoramiento del suelo. Sólo en suelos muy fértiles se puede llegar a cuatro cosechas comerciales (144). En los suelos arenosos se puede esperar únicamente un año de buena cosecha (111).

En la región subtropical del sur del país, el rendimiento del segundo año después del desmonte con fuego, puede aun superar al del primer año. Pero a partir del tercero, comienza la decadencia del suelo y la deteriorización de las cosechas que en suelos arcillosos puede ser muy lenta, y en suelos arenosos demorar unos 7 a 10 años (115).

No hay duda de que la materia orgánica del suelo no se afecta mucho por el fuego, aunque la materia orgánica de la superficie se puede quemar. Pero los suelos agrícolas y pastoriles periódicamente quemados pierden su estructura grumosa y se compactan. En tierras de ceniza volcánica los poros disminuyen un 24 % en los dos primeros años después de la quema y en suelos latosólicos un 10 %. Esto no sería tan serio, si no fuesen precisamente los macroporos los que desaparecen (115), causando la compactación de los suelos, que es consecuencia directa de:

1. destrucción de los grumos de la superficie del suelo;
2. exposición del suelo desnudo a las lluvias tropicales;
3. carencia de materia orgánica, cuyo retorno al suelo fue interrumpido.

Algunos autores indican, igualmente, la formación de sustancias hidrófobas en los suelos quemados, cubriendo la parte mineral. Su acción es tanto mayor cuanto menores son las partículas minerales, es decir, en suelos arcillosos (32, 148). Estos suelos se oponen al rehumedecimiento (28). Se trata de sustancias orgánicas, generalmente "carbonos alifáticos", que tienen fuerte repelencia al agua (148), de modo que los suelos quemados se tornan más compactos y más secos que los no quemados (32).

Quema de pasturas

Con la quema del pasto se facilita el nacimiento de mucha semilla (85) que antes no podía nacer debido al sombreamiento del suelo por la vegetación. Cuando el fuego es controlado, el calentamiento del suelo es mínimo, de modo que no perjudica las raíces vegetales, sino sólo las guías reptantes en la superficie, razón por la cual las plantas cespitosas difícilmente se ven perjudicadas, mientras las estoloníferas desaparecen.

Pero el rebrote de las plantas no depende solamente del calor producido en la superficie, sino también del estado nutricional de las plantas y, tal vez, de la velocidad con que nacen y proliferan semillas de invasoras, ahogando los rebrotes de las forrajeras.

Cuadro 9.13 *Temperatura del suelo como consecuencia de la quema (21-8-75),* **(Lourenço,** *1976)*

Hora en que fue iniciado el fuego	*Pronfundidad del suelo en cm* 3	8	15	40
6 h	16° C	20° C	18° C	18° C
10 h	20	24	20	20
12 h	18	20	18	18
14 h	20	21	18	18
18 h	20	22	18	18
22 h	18	21	18	18

Cuadro 9.14 *Evaluación del rebrote de leguminosas forrajeras después del fuego* **(Lourenço, 1976)**

leguminosa (25 plantas)	60 días después del fuego plantas rebrotadas N°	plantas no rebrotadas N°	120 días después del fuego plantas rebrotadas N°	plantas no rebrotadas N°
Centrosema pubescens	7	18	12	13
Glycine wightii siratro *(Macroptilium, atropurpereum)*	15	10	22	3
estilosantes *(Stylosanthes gayanensis)*	18	7	22	3
	0	25	2	23

Se observa que el estilosantes casi no rebrotó y de la *Centrosema* volvieron sólo la mitad de las plantas, mientras que de la soja perenne y del siratro el rebrote fue casi total.

Las quemas periódicas de las pasturas dejan surgir una flora típica de fuego, son plantas fibrosas, cespitosas y generalmente de desarrollo muy rápido o muy lento, como "barba de chivo" (*Aristida pallens*), "capim cabeludo" (*Trachypogon spp*) o "capim flexa" (*Trystachia chrysothrix*).

Estas modificaciones ocurren por causa del fuego sobre la parte vegetativa y también debido a modificaciones de los nutrientes en el suelo, que pueden aumentar, como el calcio y el cobre, o disminuir, como el potasio, el sodio y el molibdeno (ver figura 9-19).

El efecto de las quemas sobre el suelo pastoril es negativo, con una caída significativa de producción uno o dos años después de haber sido hecha (43, 91, 115). Por lo tanto, es un método barato a corto plazo y muy caro a largo plazo. Así se consigue la limpieza de los pastos de los campos, pero a costa de la desaparición de las forrajeras buenas y de la decadencia del suelo. Se eliminan plagas, pero se paga con el empeoramiento de las condiciones generales del terreno y la aparición de otras plagas y pestes, pues se crean condiciones desfavorables para las forrajeras y para gran parte de la micro y mesovida (6, 173).

Cuando es usada como medida aislada y no de rutina, la quema puede ser un salvavidas para situaciones precarias en las pasturas. Cuando es hecha en suelo seco, fuerza la brotación anticipada de la vegetación. Cuando es hecha en terrenos húmedos, puede contribuir a disminuir la humedad y proporcionar un forraje nuevo y tierno. Sin embargo, usada en forma rutinaria, solamente hace surgir un forraje tosco, como por ejemplo, el capim-caninha (*Andropogon incanis*) en Rio Grande do Sul.

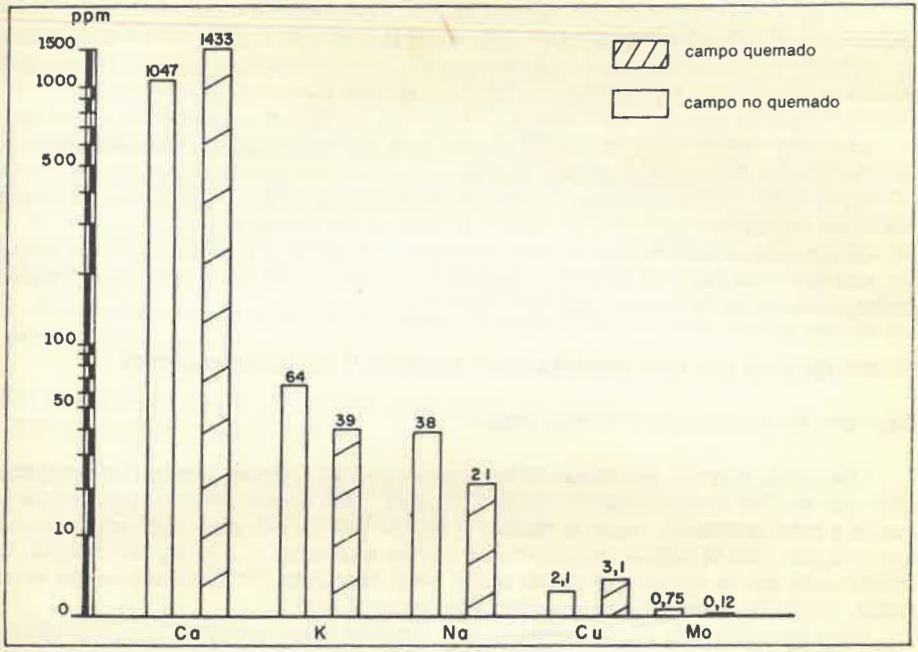


Fig. 9.19 *Efecto de la quema de un campo nativo tres meses después del fuego, y la modificación de los minerales disponibles en el suelo (***Primavesi,** *1971).*

El fuego controlado rara vez es maligno, porque no roba la cobertura muerta del suelo pastoril, sino que únicamente elimina el exceso de vegetación.

Sin embargo, en Argentina el fuego de las pasturas fue sustituido ventajosamente por un "rolo-faca" (tipo sacacorchos) que elimina la vegetación seca, pero no impide el retorno de la materia orgánica al suelo. Beneficia un brote rápido en primavera, como la quema, pero sin tener sus desventajas (99).

Aunque las técnicas de conservación del suelo son más caras que el fuego, garantizan la continuidad de la producción, por lo que a largo plazo resultan mucho más baratas (127, 128, 129).

Resumen

El efecto de la quema descontrolada sobre el suelo es perjudicial por:

1. impedir el retorno de la materia orgánica al suelo,
2. exponer el suelo al impacto de las lluvias,
3. promover la compactación del suelo, desfavorable a los cultivos,
4. crear propiedades repelentes al agua, haciendo que los suelos sean más secos,
5. crear una vegetación pastoril o de invasoras, propia del fuego.

Todas las técnicas que mantienen el suelo desnudo, expuesto al sol y a la lluvia, son impropias para el clima tropical, de modo que la batalla contra las invasoras tiene dimensiones diferentes que en otros climas, así como la eliminación de la paja, ya sea para combatir semillas de invasoras como el "capim arroz" (*Echinochloa crusgallii*) en campos de arroz irrigado, o para combatir plagas como la "lagarta rosada" u oruga de los capullos en el algodón.

Hay autores que prueban (ver capítulo 5) que la incorporación superficial del rastrojo contribuye más a mantener la salud del cultivo que la quema de la paja, pues ésta no erradica las plagas. Consigue eliminarlas por el momento, pero mantiene las condiciones que permitirán su reaparición, y ya que las condiciones del suelo después de la quema son cada vez más desfavorables para el cultivo, éste se va tornando también más susceptible a las plagas.

La tierra tropical no es menos productiva que la tierra en zonas templadas, pero las técnicas erradas destruyen su productividad.

En un suelo con buena productividad se produce en una hectárea lo que un terreno físicamente decaído produce en dos, cuatro o hasta en seis hectáreas.

La agricultura intensiva no se logra mediante una mayor mecanización de las labranzas, sino por el aumento de la producción por área cultivada, produciendo con los mismos gastos, mayores recolecciones (127, 128, 129).

EL PROBLEMA DE LAS HIERBAS INVASORAS Y SU ELIMINACION

(Malezas, hierbas dañinas o hierbas malas)

Uno de los mayores problemas en las zonas tropicales húmedas son las hierbas indeseables que pueden ser invasoras o rebrote ("juquira") del bosque original. Son necesarias cuatro a ocho rastreadas, según la región, el tiempo y el cultivo, para eliminar las hierbas que compiten con el cultivo, especialmente por los nutrientes y, a veces, por el agua. La competencia por la luz casi no ocurre en las zonas tropicales, donde la insolación es tan fuerte que hasta exige medidas de protección contra el sol.

Pero no existe sólo la competencia, sino también la contaminación del espacio por excreciones radiculares, desfavorables para el cultivo (80a).

Cuando la labranza es escardada con azada o rastrillo, siempre se hieren las raíces. Esta "sangría" provoca que la respiración de las plantas se haga más intensa (ver capítulos 1 y 2), que, de esta forma, gastan más sustancias fotosintetizadas, lo que paraliza el crecimiento vegetal durante algunos días.

Fig. 9.20 *Desmalezadora horizontal.*

Con la aplicación de herbicidas se evita la "sangría" y también el riesgo de que el cultivo "muera en un matorral". Ya se trate de herbicidas de pre o post emergencia o de contacto, el suelo se mantiene desnudo y expuesto a la erosión. El suelo desnudo bajo el sol y la lluvia no sólo puede calentarse más allá de los que la raíz pueda soportar, sino que también se encostra y compacta por el agua pluvial (16) (ver capítulo 7), dificultando la infiltración, que además refrescaría la raíz (61). Entre las desmalezadoras, la horizontal es la más ventajosa. Corta las invasoras superficialmente, provoca poca "sangría" y deja las hierbas cortadas en la superficie del suelo, ofreciendo por algunos días protección del sol y la lluvia.

En las labranzas extensivas se usa herbicida, en parte distribuido por toda el área, en parte sólo en la línea de plantación, pasándose la desmalezadora en las entrelíneas.

Sin embargo, ni el rastrillado ni el herbicida satisfacen, pues continúa el problema básico: el suelo desprotegido y, así, sujeto a la degradación física que equivale a la pérdida de su productividad.

PROTECCION DE LA SUPERFICIE DEL SUELO CONTRA EL IMPACTO DE LA LLUVIA

Está demostrado que ningún sistema de plantación, convencional, mínimo o directo, puede dispensar la protección de la superficie del suelo.

Esta puede ser hecha:

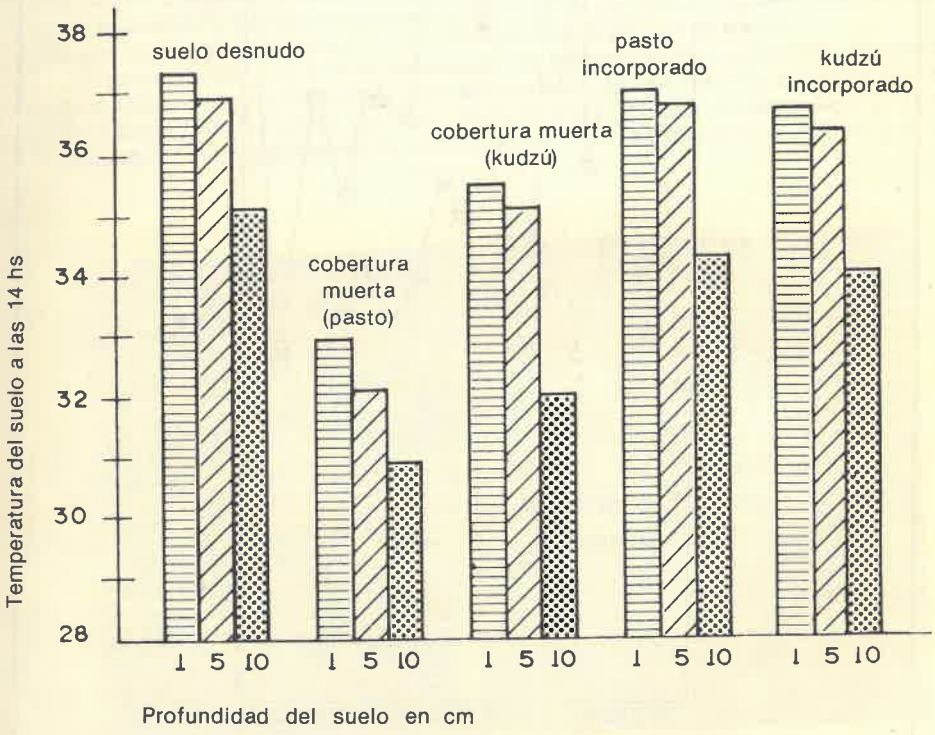


Fig. 9.21 *Temperatura del suelo en tres sistemas de manejo: desnudo, con "mulch" y con materia orgánica incorporada superficialmente (***Bandy***, 1971).*

1. por una cobertura muerta,
2. por materiales plásticos,
3. por un espaciamiento menor del cultivo y su fertilización equilibrada,
4. por cultivos protectores o una plantación consociada,
5. por árboles y arbustos de sombreamiento.

La cobertura muerta

Por mucho tiempo se pensó que la cobertura muerta o *mulch* servía tan sólo para evitar el exceso de evaporación de agua del suelo, porque impedía la insolación directa. De hecho, un suelo cubierto permanece mucho más fresco que el suelo escardado a limpio, sin ninguna protección, como muestra la figura 9-21.

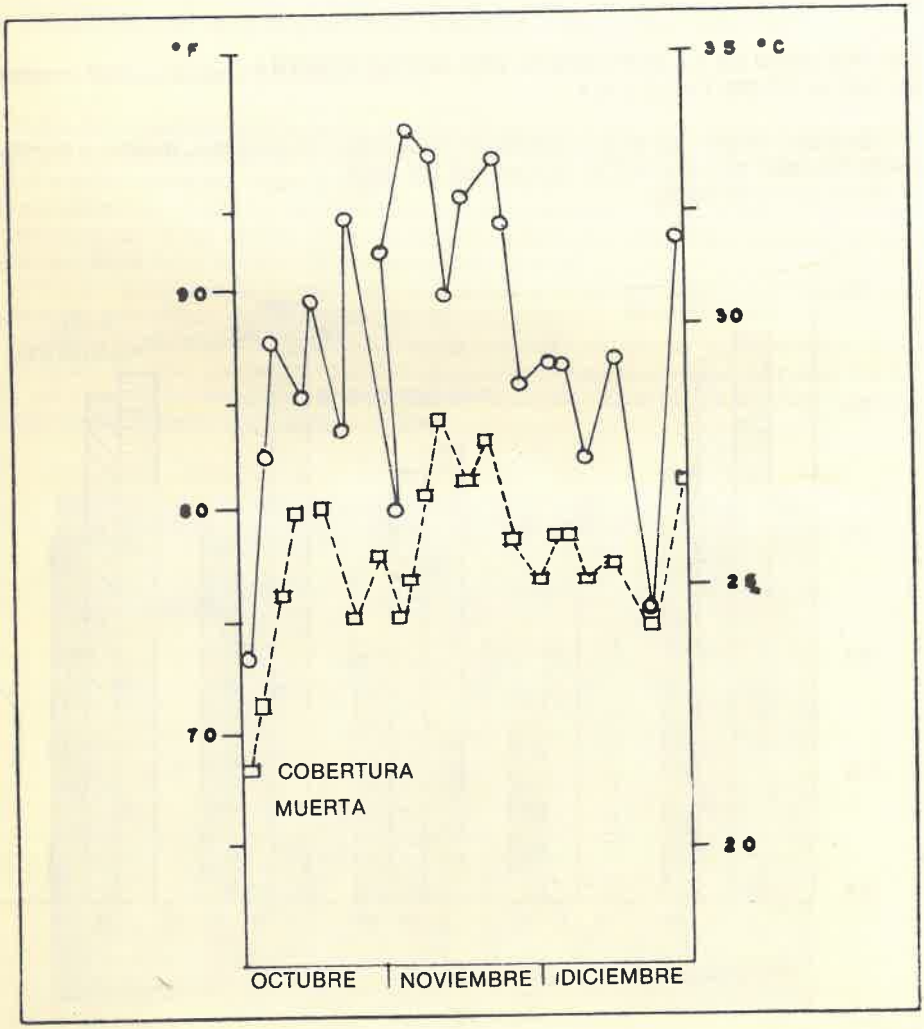


Fig. 9.22 *Comparación de temperatura en el suelo con y sin cobertura muerta (96).*

Comprobamos que, en este caso, la temperatura con cobertura de pasto seco no alcanzó 31° C, mientras que el suelo desnudo estaba en los 35° C a 10 cm de profundidad (7). Por lo tanto, la pérdida de agua es menor, y el suelo cubierto se mantiene más húmedo, lo que es muy importante en épocas secas, como muestra la figura 9-22.

Cuadro 9.15 *Influencia de la cobertura muerta sobre la humedad de un terreno cultivado con cafetos (***Brasil Sb°***, 1974).*

Profundidad del suelo	*Con cobertura muerta, humedad en %*	*Suelo desnudo humedad en %*
superficie	23,21	9,31
2 a 15 cm	21,51	16,26
15 a 30 cm	20,53	18,40

El suelo cubierto es mucho más húmedo en la capa superficial, lo que puede ser atribuido tanto a la menor evaporación como a la mayor infiltración.

En la figura 9-23 se muestra un suelo cubierto con paja de pasto *Brachiaria* y a la derecha, un suelo descubierto con la superficie encostrada por apenas una irrigación por aspersión.

El efecto más importante es, pues, sobre la infiltración del agua y la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia. **Medcalf** (1956) nos muestra en la figura 9-24 que la humedad del terreno acompaña a la curva de las precipitaciones, pero el suelo protegido por un *mulch* es siempre más húmedo que el suelo limpio (50, 136).

El suelo más húmedo permite igualmente una mejor absorción de fósforo, aunque no se debe sólo a la mayor humedad, sino también a la mejor estructura del suelo, que no sufrió el impacto de las lluvias. La infiltración del agua es de suma importancia: evita su escurrimiento y, consecuentemente, la erosión, a la vez que abastece el nivel freático y, en re-

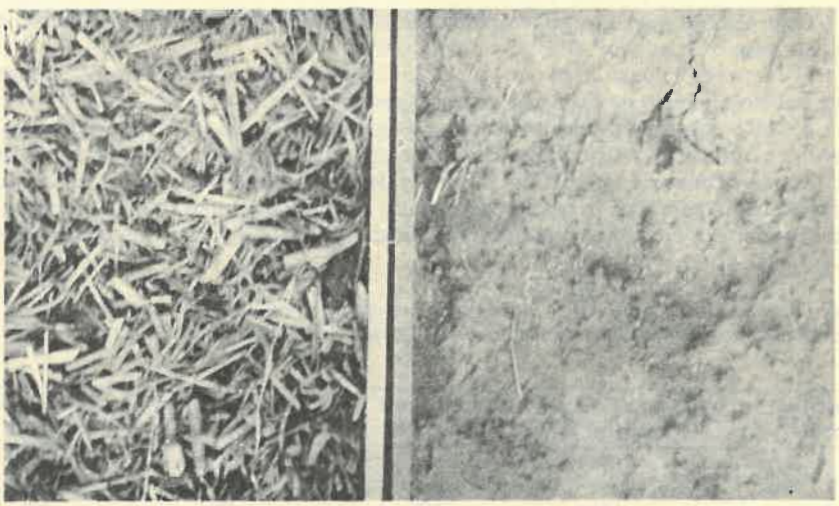


Fig. 9.23 *Suelo con y sin cobertura muerta después de una irrigación.*

giones semiáridas como en el "polígono de la sequía" en el noreste de Brasil, puede garantizar el aprovechamiento total de las precipitaciones, posibilitando labranzas y pasturas.

En la figura 9-25 se muestran 6 sistemas diferentes de trato de suelo y su efecto sobre las pérdidas de agua y tierra (90).

Las pérdidas menores de agua se registran en los tratamientos con cobertura muerta y paja enterrada, además de la aplicación de estiércol de corral. Cada horticultor puede confirmar la mejora sustancial de la estructura del suelo por la aplicación del estiércol, de modo que las pérdidas de agua y tierra son menores. En un suelo quemado la pérdida de agua y tierra es elevada. El agua pluvial penetra con dificultad, dejando la tierra más seca que la grumosa, y gran parte del agua se escurre, aumentando las crecientes de los ríos y demás. Al proteger los grumos contra el impacto de la lluvia, el terreno se mantiene permeable. **Batey** (1973) muestra en el cuadro 7-12 (capítulo 7) que el tul colocado 5 cm encima del suelo tiene un efecto idéntico al de una cobertura muerta de 5 cm de espesor, porque despedaza las gotas de lluvia y con eso reduce su fuerza.

La cobertura muerta es una medida de conservación del suelo. Pero aisladamente no siempre aumenta la cosecha. Debe ser usada conjuntamente con la fertilización (96). En la estación de las aguas es desfavorable por beneficiar la lixiviación de los nutrientes según nos muestra el cuadro 9-16.

Cuadro 9.16 *Efecto de la cobertura muerta sobre el rendimiento de sorgo en kg/ha, según el tipo de material usado para el "acolchonamiento" del suelo y la pluviosidad* (**Wrigley**, *1969)*

Tipo de material para cobertura del suelo	*1.540 mm de lluvia*	*%*	*980 mm de lluvia*	*%*
cáscara de maní	1.115	12,7	1.507	30,9
pasto seco	1.044	11,9	1.520	32,0
paja de sorgo	765	-12,6	1.246	8,2
testigo	875	0,0	1.151	0,0

Comprobamos que el sorgo reacciona desfavorablemente a la aplicación de su propia paja. Lo mismo ocurre con el trigo y otros cultivos.

El entierro de la paja en los surcos, en los cañaverales, reduce las cosechas, especialmente debido al efecto de lixiviación de nutrientes.

En suelos pobres la cobertura muerta no dispensa la fertilización. En suelo rico, esta cobertura mantiene los nutrientes a disposición de las plantas, pero agrega pocos nutrientes mientras ella permanece intacta. Sólo después de su descomposición libera los nutrientes contenidos en la paja, con excepción del potasio que puede ser lixiviado de la propia paja hacia el suelo. Por ejemplo, en el "pasto elefante" (137), 10 t/ha agregan 200 a 300 kg de

Cuadro 9.17 *Efecto de la cobertura muerta y del sulfato de amonio sobre la concentración en bases hasta un metro de profundidad del suelo, en un promedio de 5 años* (**Smith**, 1959)

Base en el suelo	*Sulfato de amonio* 200 kg/ha/año; %	*Equivalente* en kg/ha	*Cobertura muerta* 15 t/ha año, %	*Equivalente* en kg/ha
Ca	– 19*	639	+ 52	1.748
Mg	– 25*	140	+ 47	263
K	– 17*	222	+ 30	391

* Pérdida de nutrientes en relación al total de iones disponibles en el suelo.

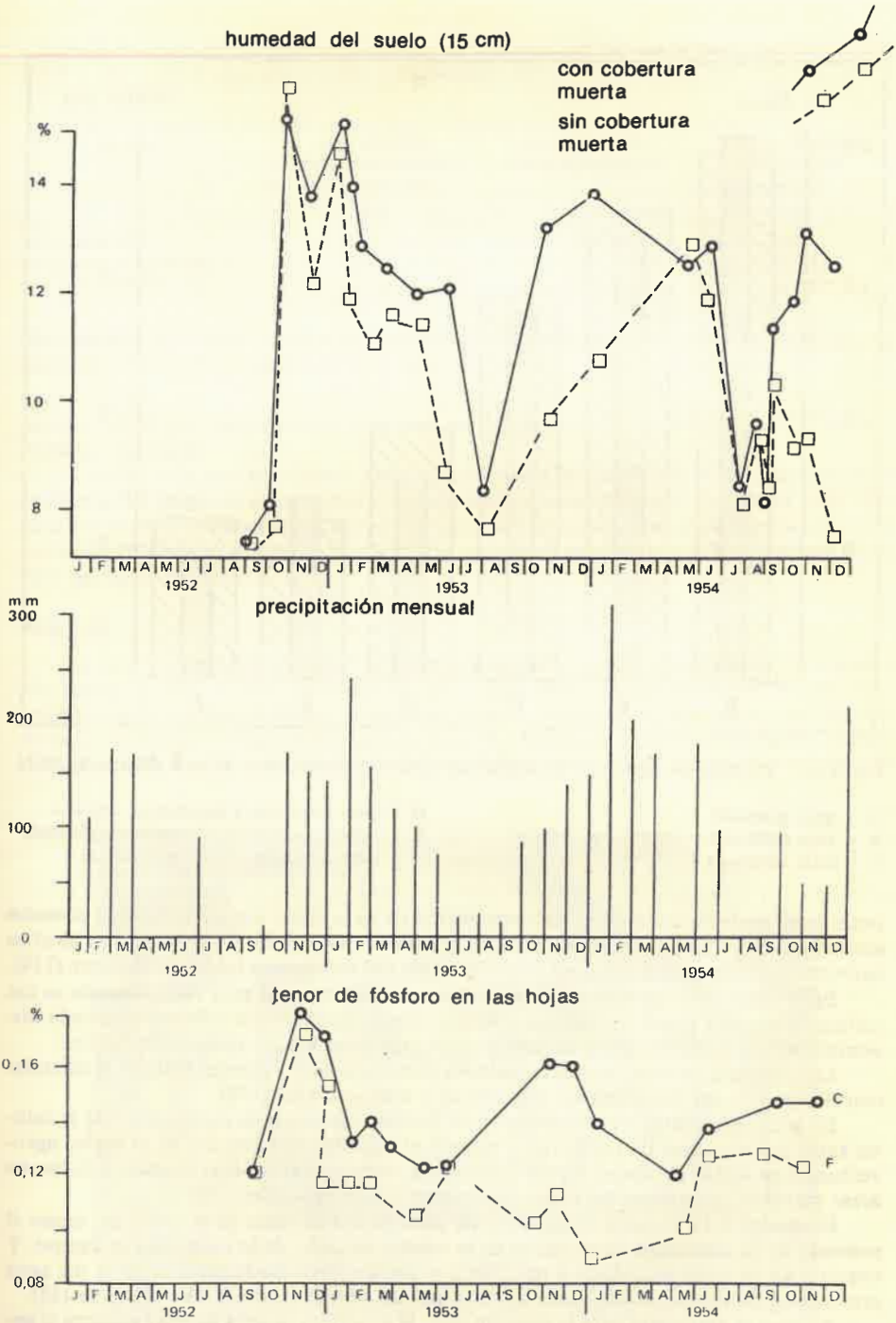


Fig. 9.24 *Efecto de la cobertura muerta sobre la humedad del suelo y el tenor en fósforo en las hojas (***Medcalf,** *1956).*

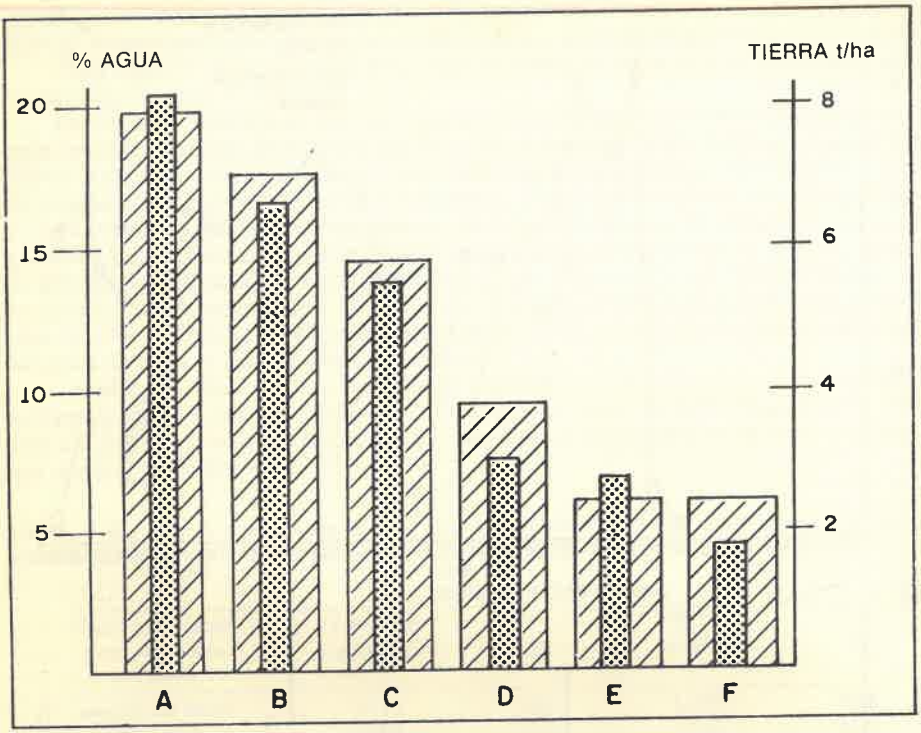


Fig. 9.25 *Pérdidas de agua y tierra después de aplicaciones diferentes de paja* (**Marques, 1961**).

A = paja quemada
B = paja enterrada y leguminosa plantada
C = paja enterrada
D = paja enterrada y leguminosa retirada
E = cobertura muerta y leguminosa plantada
F = paja enterrada, estiércol de corral

potasio, en parte, ya antes de su descomposición (la de la paja). En suelos fértiles, el *mulch* aumenta el pH, el tenor en calcio, potasio, y fósforo disponible, la humedad y el nivel en carbono, mientras que el aluminio intercambiable y el manganeso tóxico disminuyen (119).

En el cuadro 9-17 se demuestra que la lixiviación de bases es muy fuerte cuando se usa sulfato de amonio como fertilizante, mientras que en la cobertura muerta aumenta la disponibilidad de los nutrientes y se enriquece el suelo mediante la paja descompuesta.

La cobertura muerta, usada en cultivos perennes, como montes frutales o cafetales contribuye para un florecimiento más precoz y más uniforme (158).

En áreas semiáridas o subhúmedas es la medida más acertada para posibilitar el cultivo antes del comienzo de las lluvias y retener el máximo de humedad en el suelo, aprovechando en mejor forma las lluvias erráticas. Combate la erosión y, cuando se la usa en áreas mayores, contribuye para que disminuyan las inundaciones (42).

El cuadro 9-18 muestra el aumento de penetración de agua en el suelo, así como el aumento de su capacidad de retención de la misma, es decir, de la capacidad de campo. Y mientras en un suelo escardado o rastrillado se pierde aproximadamente el 63 % del agua proveniente de lluvias, en un suelo cubierto por un *mulch* se pierde sólo el 4,8 % (42).

Aunque es apropiada para la estación seca, la cobertura muerta siempre encierra el peligro de incendio. Por lo tanto, cuando se la usa en un cultivo perenne como café, citrus, caucho, etc., se aconseja una leve pasada de rastra en las entrelíneas con una distancia sufi-

Cuadro 9.18 *Efecto de la cobertura muerta en zona semiárida con 590 mm de precipitaciones anuales, sobre la captación de agua por el terreno (***Farbrother,** *1952)*

Suelo	*Agua perdida por escurrimiento y evaporación* mm	*Agua drenada hacia el subsuelo* mm	*Agua retenida en el suelo (total)* mm
suelo escardado	377,0	10,4	202,6
suelo nativo (pastura)	228,0	7,8	354,2
con cobertura muerta	28,6	119,6	441,8

Obs.: mientras la temperatura del suelo escardado oscilaba unos 24° C durante el día, en el suelo cubierto la oscilación fue solamente de 2° C (36).

ciente entre las plantas para mezclar la paja con un poco de tierra, evitando así la fácil propagación del fuego.

Cuando se la usa en cultivos anuales, cubriendo la tierra que ha sido sembrada, el problema del fuego no es tan serio y generalmente basta con pasar una rastra cada 10 m para interrumpir la alfombra de paja en la superficie del suelo, formando así una especie de corta-fuego. Cuando la paja es picada por el triturador montado en la cosechadora, el peligro de fuego es mínimo.

Resumen

La cobertura muerta, aisladamente, no es una medida que aumente mucho la cosecha. Ella mantiene los nutrientes existentes en forma disponible, agrega nutrientes al suelo, provenientes de la materia orgánica, en especial potasio, mantiene el suelo superficial más húmedo, y facilita la infiltración del agua en el suelo, evitando la erosión. Finalmente, conserva la bioestructura del suelo, y con eso, las condiciones para que la producción sea más ele-

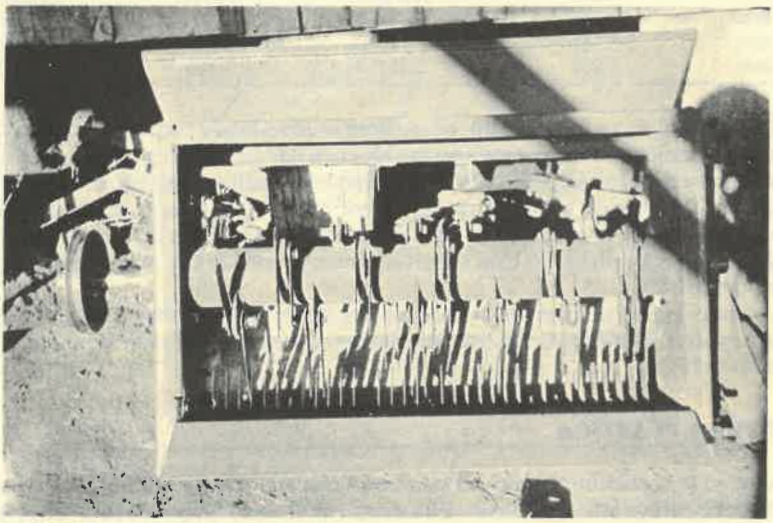


Fig. 9-26 *Triturador de paja montado en la cosechadora.*

vada. En la estación de sequía es altamente favorable; en la estación de las aguas, con lluvias abundantes, debe ser sustituida por una "cobertura viva", evitando así la lixiviación del suelo.

Material que puede ser usado como cobertura muerta

Para este fin son útiles todos los pastos de porte alto, como "pasto elefante" *(Pennisetum purpureum)*, "pasto-Guatemala" (*Tripsacum laxum*) y otros; cualquier pasto de porte bajo como "pasto-gordura" (*Melinis minutiflora*), o cualquier material orgánico.

Se usa cáscara de café, paja de trigo, arroz, sorgo y maíz, cáscara de maní y girasol, bagazo de caña de azúcar, torta de mamona, aserrín, etc.

Sin embargo, la distribución de cualquier material orgánico por lo general roba mucho tiempo, exige movilización de maquinarias y es cara. La manera más racional es plantar algún cultivo protector en la estación de las aguas, que se pica con "rolo-faca"[9] o azada rotativa al comienzo de la época seca, o con un picador de paja montado en la cosechadora, se pica la paja del cultivo principal, dejando que ésta permanezca distribuida sobre el campo hasta la siguiente plantación. El cultivo siguiente puede ser implantado en la cobertura muerta, aun antes del inicio de las lluvias regulares.

La ventaja de este sistema no es sólo que el suelo permanezca más húmedo. Aun con reducida humedad, el suelo cubierto produce más, como muestra el cuadro 9-19, permitiendo hasta el doble de obtención del producto comerciable que en el suelo desnudo, debido a una producción mucho mayor.

Cuadro 9.19 *Efectos de diferentes tensiones de humedad del suelo, con y sin cobertura muerta, en la producción de ajo* (Allium sativum L. cult. "Lavina") **(Leopoldo,** *1975)*

Tratamiento (tensión de humedad en el suelo)	*Sin cobertura muerta*		*Con cobertura muerta*	
	produc. total kg/ha	produc. comercial kg/ha	produc. total kg/ha	produc. comercial kg/ha
0,5 atm	11.909	10.570	14.556	11.700
1,0 atm	10.029	9.383	13.973	12.864
2,0 atm	8.181	7.720	9.872	9.418
15,0 atm	3.255	3.255	7.483	7.483

Aun en suelos secos (con 15 atm de tensión) la cobertura y protección contra la insolación y recalentamiento consiguen aumentar las cosechas hasta casi el doble. Este efecto favorable aparece de la misma forma en las plantaciones tradicionalmente sombreadas, como las de cacao. Después de retirar la mata, parece que el suelo pierde productividad (178). Todo hace pensar que lo principal en los cultivos sombreados es la protección del suelo, como será tratado más adelante. Una cobertura muerta conserva la productividad, según se ve en la figura 9-27.

Al mismo tiempo que aumentan las cosechas de los cultivos con terreno protegido con cobertura muerta, aumenta la salud de las plantas de cacao, especialmente cuando han sido fertilizadas (178).

COBERTURA PLASTICA

Tanto en la horticultura como en las nuevas plantaciones de cafetos, está aumentando el uso de cobertura plástica del suelo. Ella mantiene el suelo limpio de invasoras, impide la

[9] Cuchillas transversales montadas en su forma más simple sobre un tronco. En el Chaco argentino se lo llama "rolo de cuchillas" o "rolo-picador" *(J.S.M.)*.

pérdida de agua por evaporación y mantiene el terreno más fresco más allá de los primeros centímetros superficiales. Las menores oscilaciones de humedad del suelo contribuyen para un crecimiento mucho más rápido de las mudas. Sin duda, es mejor que un campo rastrillado a limpio y, a veces, superior a una cobertura muerta (ver figura 9-28).

La diferencia principal entre la cobertura plástica y la cobertura muerta es que la primera evita la evaporación y la segunda facilita la infiltración y beneficia la ventilación del suelo.

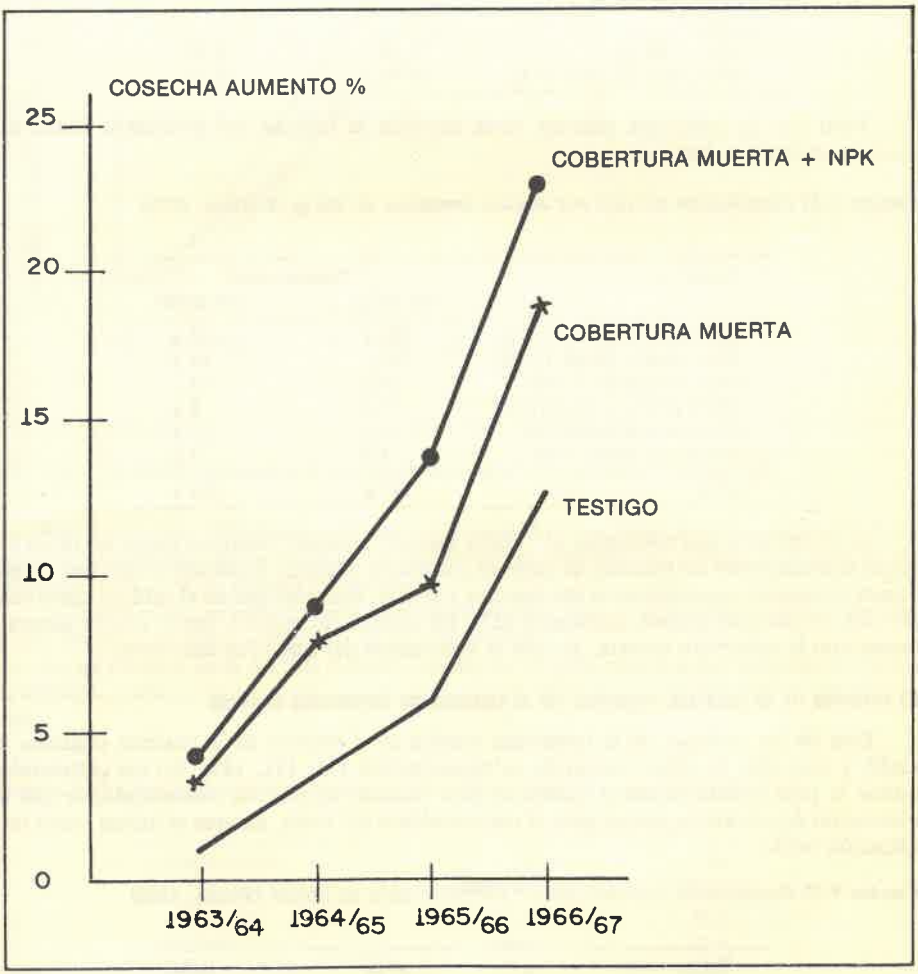


Fig. 9.27 *El efecto del "mulch" y de la fertilización sobre las cosechas de cacao (***Wessel,** *1967).*

Cuadro 9.20 *Producción de café en suelos mantenidos bajo cobertura de polietileno* (**Corbini**, *1978*)

Espaciamiento 3,5 × 1,5 m		
Producción	*Tratamientos*	
	con poliet.	*sin poliet.*
café de roça 1000 plantas, bolsas de 110 litros	20,02	10,31
café en coco, 1.000 plantas, bolsas de 40 kg	15,84	7,86
café beneficiado 1.000 plantas, bolsas de 60 kg	5,30	2,37
rendimiento del café en kg	20,08	18,12

Pero con la cobertura plástica varía también la calidad del producto, como nos muestra el cuadro siguiente:

Cuadro 9.21 *Clasificación del café por tamices (muestras de 300 g)* (**Corbini**, *1978*)

Datos	*Tratamientos*	
	sin poliet.	con poliet.
chato grueso (tamiz > 17)	182 g	162 g
chato medio (tamiz 15-16)	64 g	94 g
chatinho (tamiz 12-14)	15 g	15 g
Moca grueso (tamiz 11-13)	15 g	8 g
Moca medio (tamiz 10)	17 g	12 g
Moquinha (tamiz 8-9)	4 g	3 g
total	297 g	294 g

Se comprueba que solamente el "chato medio" aumentó mientras todos los otros tamices disminuyeron en relación al café sin cobertura plástica. También los granos defectuosos aumentan, especialmente los chochos y verdes, mientras que en el café sin cobertura plástica existen más granos quebrados (27). La calidad no mejoró, como ocurre generalmente con la cobertura muerta, ya que la ventilación del suelo fue deficiente.

El retorno de la materia orgánica en el sistema de cobertura muerta

Una de las ventajas de la cobertura muerta es el retorno de la materia orgánica al suelo, y con ello, la conservación de su bioestructura (31, 131, 145). En los cañaverales donde la paja generalmente es quemada para facilitar la cosecha mecanizada, se usa la plantación de *crotalaria juncea* para el mejoramiento del suelo, aunque se utiliza como fertilización verde.

Cuadro 9.22 *Restauración del suelo para el cultivo de caña de azúcar* (**Wutke**, *1968*)

Tratamiento	*t/ha caña-planta*	*t/ha caña-soca*
leguminosa-NPK - Ca	122,9	67,3
leguminosa - PK - Ca	115,7	64,3
leguminosa - NPK	66,0	36,8
leguminosa - PK	87,0	47,4

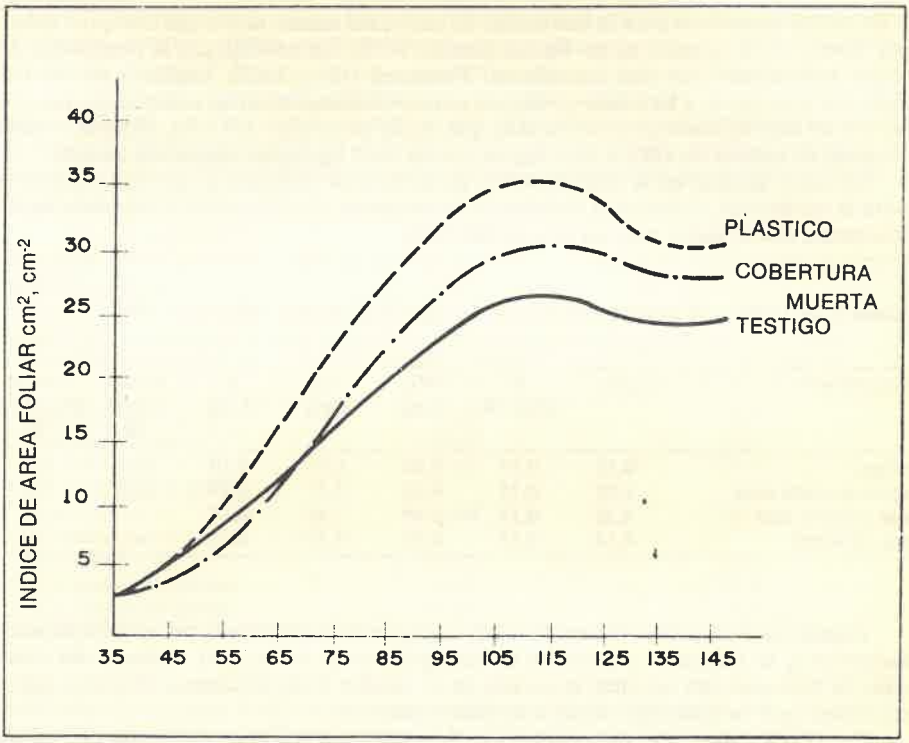


Fig. 9.28 *Reacción del maíz a la cobertura del suelo, en el cerrado (***Bandy**, *1975).*

Este suelo, con pH 4,6 (un Latosolo rojo-amarillo) reaccionó negativamente a la fertilización nitrogenada en ausencia de un encalado, probablemente porque bajó más el pH debido a la adición de sulfato de amonio.

La fuerte caída del rendimiento en el segundo corte ocurre casi siempre, probablemente por terminar el efecto favorable de la leguminosa.

En las pruebas de la **ACAR** (Minas Gerais), la materia orgánica fue aplicada en forma de estiércol, tomado de las pasturas, de modo que su valor no era mucho mayor que el de la paja.

Cuadro 9.23 *Efecto del estiércol sobre la producción de caña de azúcar (***ACAR**, *1976).*

Tratamiento	*t/ha caña-planta*	*t/ha caña-soca*
testimonio	67,6	30,9
estiércol	88,1	38,4
NPK	90,0	40,0
NPK - estiércol	96,9	42,0

Es de suponer que la protección del suelo iría a mantener la producción de la caña soca. Con estiércol seco y tratado técnicamente, el efecto es otro (142). Como enterrar la paja

en los surcos contribuye para la lixiviación del suelo, del mismo modo que cualquier cobertura muerta en la estación de las lluvias (cuadro 9-15), fue considerada la posibilidad del cultivo consorciado con una leguminosa. **Primavesi** (1953, 1965), implantó poroto fradinho con gran éxito, y **Krutman** (1968) usó poroto-de-fomento en las entrelíneas, que, a la vez que no bajó el rendimiento de la caña que osciló entre 139 y 141 t/ha, dio una cosecha adicional de poroto de 1088 a 1357 kg/ha contra 1655 kg/ha en plantación aislada.

El temor general en la incorporación de la materia orgánica es su efecto depresivo sobre la recolección, debido a la deficiencia de nitrógeno. Pero, cuando es mezclada superficialmente con el suelo, esto no ocurre (98, 124).

Cuadro 9.24 *Análisis del suelo con incorporación superficial de paja (***Miyasaka,** *1966)*

Tratamiento	*pH*	*N* total, %	*PO_4* e.mg	*Ca* e.mg	*K* e.mg	*unidad* actual %	*unidad* disponible %
testigo	4,32	0,16	0,26	1,90	0,10	16,4	0,8
capim-gordura seco	4,22	0,15	0,42	2,17	0,25	17,8	1,9
soja perenne seca	4,32	0,15	0,49	1,85	0,17	—	—
paja de arroz	4,12	0,15	0,41	1,53	0,15	—	—

Cuando la incorporación superficial de la paja está acompañada por una fertilización fosfocálcica, se produce un aumento de nitrógeno en el suelo (124). Además del efecto sobre la humedad del terreno, mostrado en el cuadro 9-24, la materia orgánica agrega nutrientes, que va liberando durante su descomposición.

La **ACAR** (Minas Gerais) proporciona la siguiente relación de nutrientes por toneladas de material orgánico.

Cuadro 9.25 *Equivalencia en fertilizantes comerciales de material orgánico, además del efecto sobre el suelo (***ACAR,** *1976)*

Material	*Kilogramos por tonelada de material*		
	sulfato de amonio	superfosfato	cloreto de potasio
paja de arroz	30,0	20,0	16,6
paja de leguminosas	80,0	17,5	20,0
aserrín de madera	9,0	45,0	3,0
ceniza de madera	—	75,0	83,0
bagazo de caña	19,0	7,5	2,8
torta de filtro (fermentada)	77,5	59,0	15,0
heno de capim-gordura	25,0	20,0	35,5
cáscara de café (curtida)	42,5	9,0	15,6
residuo de tabaco	125,0	*	108,3
estiércol de corral (curtido)	25,5	12,5	8,3
estiércol de aves	100,0	100,0	16,6
cama de pollos	205,0	108,0	40,1
torta de mamona	275,0	100,0	16,0
basura urbana	60,0	17,5	19,0

(*) datos incompletos

Cama de pollos y torta de mamona son fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, aparte de su acción orgánica. Otros prácticamente no adicionan casi nada en nutrientes, como, por ejemplo, el bagazo de caña, que aun así, ejerce una acción favorable sobre la producción, que puede ser atribuida al mejoramiento de la estructura y a la mayor capacidad de retener humedad, así como a una microvida más diversificada. El efecto de los nutrientes adicionados al suelo no es idéntico al de los fertilizantes minerales, desde el momento en que éstos ya se encuentran en forma orgánica. Por eso, no sólo se aumenta la cantidad de la cosecha, sino también la calidad.

Cuadro 9.26 *Efecto de materia orgánica sobre el rendimiento y calidad de papas* (Solanum tuberosum) *(Gomes, 1963)*

Tratamiento	*Cosecha p/cantero en kg*	*Cantidad de papas de clase "A" y especial, %*
sulfato de amonio	5,29	37,5
torta de mamona	*11,40*	*61,8*
PK dosis doble	7,42	31,0
PK doble dosis y sulfato de amonio	12,04	54,8
PK doble dosis y torta de mamona	15,70	54,7
PK y torta de mamona	14,49	61,2
PK y sulfato de amon.	11,40	44,4

Se comprueba que el efecto de la torta de mamona es mayor que el de una fertilización mineral masiva. Con una fertilización normal indicada y torta de mamona, no solamente se recoge más que con una fertilización mineral masiva, sino que también el producto es de una calidad superior, consiguiendo, por lo tanto, un mejor precio.

El retorno de materia orgánica, que siempre tiene lugar mediante la cobertura muerta, contribuye de hecho para el aumento de la fertilidad, pero también especialmente para la conservación de la productividad del suelo.

En la estación de las aguas el "acolchonamiento" del suelo con material orgánico no es aconsejable; se debe dar preferencia a una "cobertura viva".

Cobertura viva.
Espaciamiento menor del cultivo

En muchos países del mundo se tiende a disminuir el espaciamiento entre las plantas para proteger al suelo contra la insolación y el impacto de las lluvias.

Hace tiempo, se aumentó el espaciamiento para conseguir un producto mayor en tamaño. Sin embargo, la declinación de las cosechas con los años de cultivo, hizo pensar en encontrar un espaciamiento con el que el suelo se desgastase menos. En Florida, en la plantación de maíz se subió de 42.000 plantas por hectárea a 70.000 plantas por hectárea, con espigas menores, pero un rendimiento mayor.

En la mayoría de los países europeos el espaciamiento entre las líneas es de 60 cm, aunque el maíz es una planta que tiene gran necesidad de luminosidad.

También en Brasil, el espaciamiento que antes era de 1 m x 1 m, se disminuyó a una distancia de 80, y hasta 70 cm entre las líneas y de 30 a 40 cm entre las plantas de una misma línea.

En el algodón, el espaciamiento más benéfico es de 60 cm entre las líneas y de 30 cm en la línea (3 plantas por metro lineal), como muestra el cuadro 7-14 (19, 20).

También en la horticultura, donde el factor agua es largamente compensado por la irrigación, el espaciamiento menor resulta ser ventajoso.

Cuadro 9.27 *Espaciamiento y sistema de plantación en el cultivo de zanahoria (***Cheng,** *1973/74)*

Espaciamiento	*Rendimiento g/parcela*	*kg/ha*	*Peso medio raíz em g*	*Población: plantas/ha*
10 × 5	7.428	57.138	42,0	1.385
10 × 8	5.360	41.231	46,3	923
20 × 5	5.918	45.523	58,1	769
20 × 8	4.893	37.638	82,8	462

Por este cuadro se comprueba que el tamaño de las zanahorias aumenta con el mayor espaciamiento, pero, de todos modos, el rendimiento total por hectárea disminuye.

Un cuadro idéntico se puede comprobar en cualquier otro cultivo, como por ejemplo, en los frutillares (135) (ver capítulo 7). La disminución del tamaño de las frutas limita la densidad del espaciamiento.

En el té-de-la-india un espaciamiento menor fue la solución para la conservación del cultivo, aun dificultando la cosecha por falta de corredores o porque éstos eran muy estrechos.

En los cafetales, el espaciamiento menor aumenta la producción, según se ha verificado en todos los países productores, incluyendo Brasil.

Cuadro 9.28 *Producción de café beneficiada por hoyo y por área de cafetos, con 1 año y 10 meses en el campo, en espaciamiento progresivo (***Viana,** *1978)*

Espaciamiento de 1m fijo en las líneas				
	Espaciamiento		*Producción*	
dimensión m	área/hoyo m^2	hoyos/ha N°	por hoyo kg	por área kg/ha
1,28 × 1	1,28	7.812	0,125	977
1,54 × 1	1,54	6.493	0,138	896
1,85 × 1	1,85	5.405	0,132	714
2,22 × 1	2,22	4.504	0,140	631
2,66 × 1	2,66	3.759	0,140	526
3,19 × 1	3,19	3.135	0,152	476
3,83 × 1	3,83	2.611	0,132	358
4,60 × 1	4,60	2.174	0,140	304
5,52 × 1	5,52	1.812	0,167	303
6,62 × 1	6,62	1.511	0,167	252
Espaciamiento de 2m fijos en las líneas				
1,28 × 2	2,56	3.906	0,238	930
1,54 × 2	3,08	3.247	0,172	558
1,85 × 2	3,70	2.703	0,212	573
2,22 × 2	4,44	2.252	0,185	417
2,66 × 2	5,32	1.880	0,232	436
3,19 × 2	6,38	1.567	0,222	348
3,83 × 2	7,66	1.306	0,235	307
4,60 × 2	9,20	1.087	0,258	280
5,52 × 2	11,40	906	0,242	219
6,62 × 2	13,24	755	0,260	196

Un cuadro idéntico se puede confeccionar en los cafetales de cualquier lugar del mundo, ya sea en Filipinas (56), o en América Central (52), o en Brasil. Donde el espaciamiento

menor está siendo recompensado por la protección y conservación del suelo, se pueden obtener rendimientos hasta tres veces mayores que con el espaciamiento convencional.

Cuadro 9.29 *Efecto del espaciamiento sobre el rendimiento del café*

(Handog & Bartolomé, 1966)		(Graner & Godoy, 1971)	
Espaciamiento	*Cerejas* recogidas, toneladas*	*Espaciamiento*	*Promedio de café recogido en los primeros tres años* kg/ha
1,0 × 3	34,2	2,0 × 1,0	3.195
1,5 × 3	33,2	2,5 × 1,5	2.600
2,0 × 3	18,3	3,0 × 2,0	1.800
2,5 × 3	14,8		
3,0 × 3	13,6		

La mayor insolación del cafeto está siendo perjudicada por la mayor exposición del suelo al sol y la lluvia, de modo que con la mejor protección del suelo y su conservación en estado grumoso, se obtienen mayores rendimientos. Pero esto exige imperiosamente la poda de las plantas, ya que sólo importan las ramas nuevas que son las más fructíferas, siendo innecesaria una gran cantidad de madera vieja. Generalmente se recurre a la recepa de cada tercera hilera por año, de modo que siempre hay una hilera alta, una media y una baja.

Existen otros cultivos donde la cosecha mecánica exige un menor espaciamiento, por ejemplo, en la soja. Con un espaciamiento mayor se producen tallos muy gruesos, muy difíciles de cortar por la cosechadora. Pero también un espaciamiento demasiado reducido provoca la caída de las flores, y por lo tanto, una reducción del rendimiento.

Cuando se habla de un "espaciamiento reducido" se debe considerar la existencia de límites inferiores que no deben ser sobrepasados, para no perjudicar la cosecha.

La ventaja de un espaciamiento menor es sin duda, la protección del suelo mientras se permite la necesaria insolación de la parte superior del cultivo. En parte, un espaciamiento menor causa un "autosombreamiento" del cultivo, que puede permitir la multiplicación de enfermedades fungosas, como ocurre, por ejemplo, en el arroz irrigado, en las variedades con hojas no erectas.

Con el menor espaciamiento aumenta la "población" vegetal del campo, y con ello, la necesidad de nutrientes. Vale tener en cuenta esta regla: *cuanto mayor es la población vegetal de un campo, tanto más rico debe ser el suelo, o por lo menos, tantos más nutrientes deben estar a disposición del cultivo.* La excepción es el nitrógeno (179) que fácilmente provoca el abatimiento de los cereales, cuando es adicionado en la misma proporción de los otros nutrientes. La figura 9-29 muestra que un nivel alto de nitrógeno es capaz de suministrar mayores cosechas con una densidad mayor. Mientras una "población" de 20.000 plantas de maíz rinde 5,80 t/ha de granos, una "población" de 50.000 plantas rinde 7,85 t/ha de maíz, con idéntica cantidad de nitrógeno a disposición.

Con un mediano suplemento de nitrógeno a una "población" más densa de maíz, el rendimiento permanece prácticamente estable, alrededor de 5,0 t/ha, ya sean 20.000 o 50.000 plantas por hectárea. Plantando con una densidad mucho mayor, como por ejemplo, 70.000 plantas por hectárea, las espigas son menores, y de esa manera, la mayor cantidad de recolección compensa el menor tamaño del producto.

La ventaja del menor espaciamiento es la protección del suelo y la conservación de su bioestructura y productividad y, cuando está bien orientado, un mayor rendimiento. Lo más importante, sin embargo, es la continuidad de las buenas cosechas, sin la caída común que se produce después de algunos años de plantación convencional.

Los espaciamientos muy distanciados, como se usan en los montes frutales, siempre

* Cereja se denomina el grano de café con cáscara antes de ser secado. *N.T.*

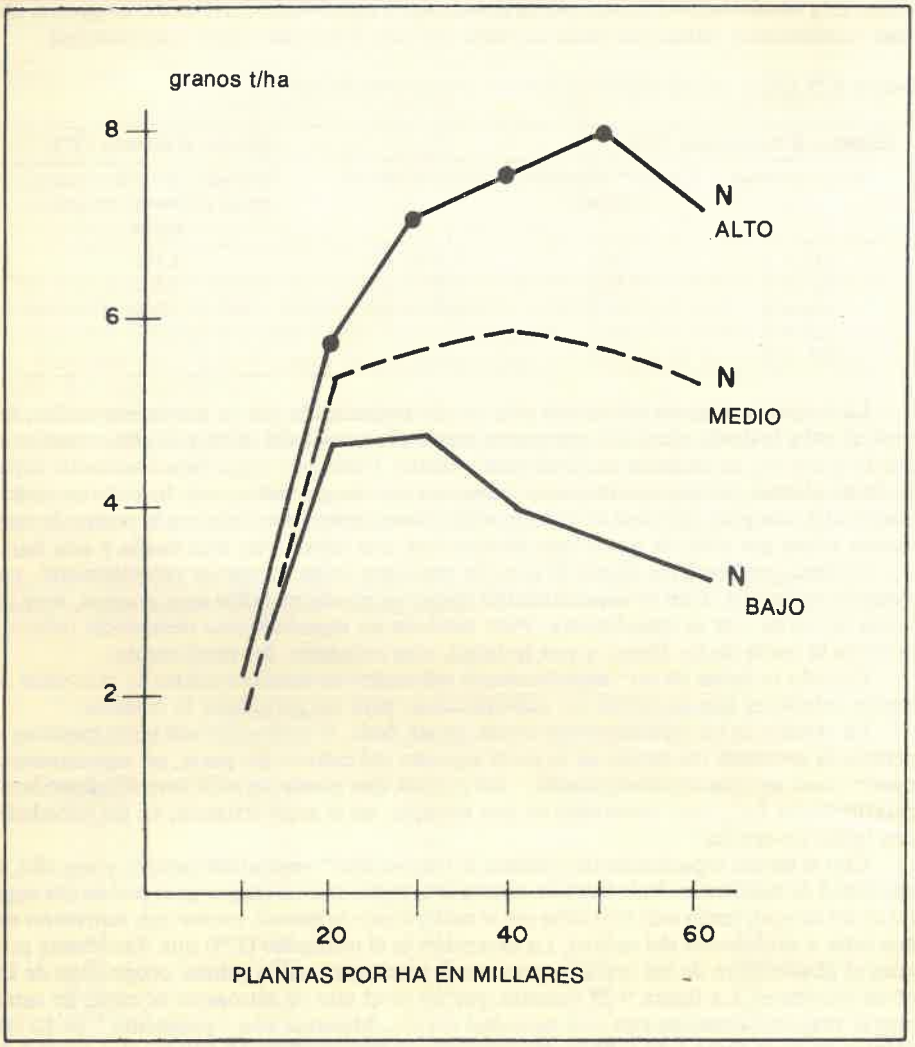


Fig. 9.29 *Rendimiento de maíz con diferentes densidades de plantación con tres niveles de nitrógeno en el suelo* (**Lang**, *1956*).

contribuye para la compactación de los suelos y la reducción de las cosechas. Sin embargo, no siempre es posible disminuir el espaciamiento, debido a las imperiosas necesidades de mecanización durante el crecimiento del cultivo y la cosecha. En este caso se recurre al "cultivo protector" o *cover crop*.

El cultivo protector o la "invasora" escogida

La invasora compite con el cultivo por los nutrientes y en épocas de sequía, por el agua, y además perjudica al cultivo con sus excreciones radiculares. Como ya fue tratado en los capítulos 2 y 4, las raíces excretan sustancias que como quelatantes ayudan en la ab-

sorción de minerales; que atraen una microflora específica, inclusive bacterias noduladoras y micorrizas; y que defienden su espacio radicular contra la invasión de plantas con necesidades nutricionales semejantes (181).

Las hierbas, indeseadas en los cultivos, protegen el suelo pero perjudican el cultivo. Se deduce, pues, que estas hierbas "malas", cuando no fueran concurrentes serían benéficas, porque no quitan nada al cultivo, pero ayudan a conservar el suelo.

Surgió, entonces, la técnica de la invasora *seleccionada* o *escogida*, que sustituye a la invasora indiscriminada y constituye el *cultivo protector*. Como la invasora siempre es un *ecotipo*, es decir, una planta apropiada al medio ambiente, el cultivo protector también debe ser un ecotipo, en caso contrario, no sería capaz de concurrir con éxito con las invasoras nativas.

¿Cuál es la planta que debe ser usada como "protectora" para cubrir el espacio vacío entre las líneas, y cómo efectuar el primer escardado antes de que la protectora "cierre" el suelo?

Es necesario que el cultivo protector:

1. tenga fácil propagación por semillas;
2. sea de crecimiento rápido;
3. tenga un sistema radicular diferente al del cultivo principal;
4. no compita con el cultivo por los mismos nutrientes;
5. no sea competitiva con respecto al agua disponible en el suelo;
6. sea resistente a plagas y pestes que puedan atacar al cultivo y que no sea hospedante de ellas;
7. suprima eficazmente a las plantas invasoras, inclusive el rebrote de la mata.

Por naturaleza no existe el suelo desnudo, a no ser en casos extremos, como en los desiertos. Plantando un cultivo en líneas, es lógico que la tierra no quedará sin vegetación, ya que cualquier suelo contiene una infinidad de semillas que esperan su oportunidad para nacer. Existen plantas que consiguen crecer con poca luz, pero sin luz, ninguna planta se desarrolla. Cuando la tierra es expuesta a la luz, las semillas nacen y surge el rebrote.

Se espera que el cultivo protector suministre nitrógeno al cultivo principal, enriquezca el suelo en materia orgánica, lo mantenga "abierto" por un sistema radicular vigoroso e interrumpa el efecto nocivo del monocultivo sobre la vida del suelo. Cuando es necesario, también se espera que actúe como corta-vientos.

Existen dos maneras de usar estos cultivos protectores:

a) en forma de cultivos consorciados o intercalados (*intercropping*), plantados en épocas diferentes en el mismo campo, para que mientras se hace la recolección de un cultivo, el otro se está desarrollando (103). En este sistema, por ejemplo, se planta maní y, en la época del primer escardado, se implanta mijo *(Eleuzine sp.)*. Este "cierra" el suelo, pero no consigue desarrollarse satisfactoriamente mientras el maní permanece en el campo. Después de la cosecha del maní, el mijo se desarrollará dando buena cosecha (1).

El mismo sistema puede ser usado con poroto-de-fomento, y después del primer escardado se implanta algodón herbáceo. Sólo que en este caso se necesita una fertilización potásica fuerte. Una vez recolectado el poroto, el algodón "cierra" enseguida. También se puede usar de otra forma, implantando guandú en las entrelíneas del algodón, o implantando poroto en las entrelíneas de la caña de azúcar (81, 126). Especialmente en los años secos, este sistema rinde mucho más que los cultivos escardados. Al mismo tiempo, disminuyen las plagas y pestes, al quebrar el efecto del monocultivo.

b) se hace la cobertura del suelo por medio de una leguminosa que puede ser implantada en las entrelíneas o sembrada antes del cultivo principal que será implantado (181). En las figuras 9-30 y 9-31 se muestra el efecto de la protección del suelo por maní plantado en un cafetal nuevo.

Se puede verificar que las plantas de café en el campo con suelo protegido son mucho mayores y más robustas.

Fig. 9.30 *Plantación de café convencional (gentileza de* **O. Primavesi,** *1977).*

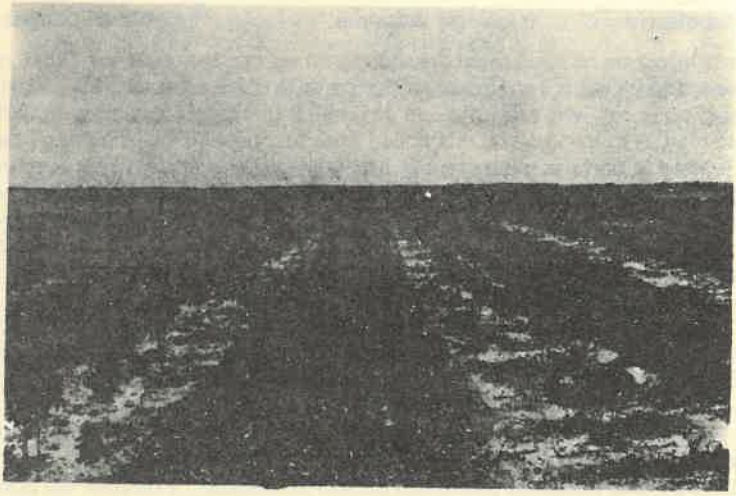


Fig. 9.31 *Plantación de café de idéntica edad, con cuatro hileras de maní plantado en las entrelíneas (gentileza* **O. Primavesi,** *1977).*

La implantación de poroto-de-puerco *(Canavalia ensiformis)* en el maíz, no sólo protege el terreno contra la lluvia, sino que también suprime eficazmente a todas las invasoras, inclusive los pastos. Aun en años muy lluviosos, el cultivo permanece "limpio" y el rendimiento del maíz es superior, al ser beneficiado por la leguminosa (62).

Las plantas más indicadas como cultivos protectores son:
Para el clima subtropical en invierno:

Fig. 9.32 *Maíz con poroto-de-puerco implantado.*

altramuz *(Lupinus sp)*, serradela *(Ornitopus sativa)*, algarroba *(Vicia spp)*, diversos tréboles *(Trifolium spp)* y *Lathyrus.*

Para el mismo clima, en verano:

poroto menudo *(Vignia sinensis)*, poroto-de-puerco *(Canavalia ensiformes)* y soja *(Glycine max, Merril).*

Para el clima tropical, la posibilidad de elección es mucho mayor (176), aunque depende de la zona, del suelo y de la topografía.

Sirven como cultivos protectores:

Guandú (*Cajanus indicus* y *C. javanica*), Lab-Lab (*Dolichos Lab-Lab*) o diversos otros *Dolichos*, estilosantes, tanto el decumbente como los erectos (*Stylosantes gracilis, St. humilis* y *St. guyannensis*), alfalfa del norte *(Indigofera spicata)*, diversas mimosas como *Mimosa invisa*, que como son espinosas dificultan la cosecha del cultivo, especialmente si ésta se hace en forma manual, mucuna *(Styzolobium sp)*, falso-oró *(Calopogonium mucunoide)*, mata-pasto *(Crotalaria striata)* y otras crotalarias, etc.

Se benefician en asociación:

maíz con guandú y maíz con poroto-de-puerco;

algodón con soja perenne o maní;

trigo con trébol blanco;

caña de azúcar con poroto fradinho, también con algunos desmodios o crotalarias (nunca se deben usar enredaderas en la caña de azúcar);

caucho con *Centrosema* o falso-oró, y también con kudzú tropical *(Pueraria phaseoloides)*, pero se debe cuidar que las leguminosas no se aproximen más de 0,75 m de distancia de las Heveas;

diversas palmeras, como babazú y dendé, con estilosantes;

ananá con *Crotalaria;*

sisal con *Dolichos biflorus;*

mijo con sésamo *(Sesamun indicum)*, o guandú o estilosantes.

Es muy importante considerar que no sólo el cultivo debe ser compatible con su cultivo protector, sino que éste también debe ser un ecotipo del suelo en que será plantado, ya que debe sustituir y ahogar a las invasoras que, indudablemente son ecotipos.

Es indispensable que el cultivo protector sea una planta común de la zona, que se desarrolle rápidamente y con vigor. Si no fuera así, no conseguirá suprimir a las invasoras nativas y, por lo tanto, no protegerá el cultivo comercial. El cultivo protector debe ser la *invasora escogida.*

Cuando se planta el cultivo protector al mismo tiempo que el cultivo principal, se hace necesario un primer escardado, que es verdaderamente difícil debido a las nuevas plantitas de la protectora en las entrelíneas. Para superar este problema se aconseja el uso de herbicida pre o post-emergencia, aplicándolo en dosis reducidas y de duración corta, para proteger el cultivo comercial y la protectora, de las invasoras, hasta que este último se torne capaz de suprimirlas.

Desde ese momento en adelante, los escardados y los herbicidas se hacen innecesarios. Aun en años muy húmedos, no existe problema con hierbas malas, ya que el protector impide su desarrollo.

Donde el uso de herbicidas resulte imposible debido a un nivel freático muy alto y al peligro de la contaminación de los pozos, el protector debe ser plantado antes que el cultivo principal, con la implantación posterior de éste. En este caso, enredaderas o trepadoras, es decir, leguminosas volubles que estorban enganchándose en el cultivo principal, no pueden ser usadas, como por ejemplo, mucuna, *Pueraria, Calopogonio* y otras.

El cultivo protector es óptimo para la estación de las lluvias, pero debe ser usado con mucha cautela en la estación seca. En esta época es mejor que sea picado y distribuido como cobertura muerta en la superficie del suelo, protegiéndolo contra la evaporación, captando las pocas lluvias invernales y protegiendo al suelo del impacto de las primeras lluvias primaverales.

Resumen

En zonas tropicales y subtropicales, las técnicas que mantienen el suelo limpio deben ser sustituidas por "invasoras escogidas" o sea cultivos protectores y, en la estación seca, por la cobertura muerta. Siempre se debe recordar que la "invasora escogida" únicamente puede ser una planta perfectamente identificada con el ambiente en que debe crecer. La protectora debe tener características semejantes a las de las invasoras nativas, sólo que las excreciones de sus raíces deben beneficiar al cultivo, en vez de perjudicarlo (ver capítulo 2). La ventaja del cultivo protector es proteger y sombrear el campo, mientras el cultivo recibe plena insolación. Se reúnen de esta manera todas las ventajas de la sombra en el suelo, sin que ésta afecte al cultivo. En la zona ecuatorial parece ventajoso el semisombreamiento.

EL SOMBREAMIENTO DEL CULTIVO

Antiguamente, muchos cultivos perennes, como el café, cacao, té, guaraná, etc., se cultivaban sombreados. Se obtenían cosechas poco elevadas, pero estables y continuas, con pocos esfuerzos y bajos costos de producción. Pero, con la introducción de variedades más productivas, se agotaron las reservas nutricionales de los suelos (178).

La fertilización surte poco efecto en un cultivo sombreado, de modo que la sombra fue retirada, iniciándose con ello la decadencia física de los suelos. Como ya fue tratado en el capítulo 8, el retiro de la sombra implica una serie de medidas de conservación del suelo que antes eran innecesarias. Además son imprescindibles mayores fertilizaciones, frecuentes escardados o uso de herbicidas, defensa sanitaria más intensiva, aplicación periódica de materia orgánica y corta-vientos.

El retiro de la sombra acarrea no sólo la modificación de los niveles de nutrientes en el suelo, sino también la modificación de la absorción de los vegetales.

Cuadro 9.30 *Variación de los nutrientes en el suelo por el retiro de la sombra* (**Fonseca**, *1967*)

Local	*Condición*	*pH*	*N* %	*Ca* e.mg	*Mg* e.mg	*K* e.mg	P_2O_5 ppm
Abengowron	sombra	6,1	0,16	4,0	1,3	0,13	48
Iddo	poca sombra	6,8	0,14	7,7	1,7	0,18	7
Iroko	poca sombra	6,7	0,21	12,0	2,7	0,61	26
Akinyele	poca sombra	6,9	0,25	14,2	2,9	0,62	40
Aiytoro	poca sombra	6,8	0,21	12,0	2,3	0,28	5
"West" Africa	sol	6,5	0,14	—	2,1	0,21	0,6
River State	sol	5,9	0,18	8,6	2,0	0,12	1,5

Comprobamos que, con la retirada parcial de la sombra, tiene lugar un aumento de los nutrientes en el suelo. Sin embargo, con el retiro completo de la sombra, vuelve a haber una reducción en los mismos. La razón principal fue el aprovechamiento de los fertilizantes, que es mayor bajo el sol.

Cuadro 9.31 *Fertilización de plantaciones de cacao, sombreadas y al sol* (**Hardy**, *1962*).

Fertilización en Kg/ha para cada 100 kg de almendras secas	*Cacao sombreado*	*Cacao al sol*
sulfato de amonio (21% N)	12	24
superfosfato triple (47% P_2O_5)	4	6
sulfato de potasio (48% K_2O)	6	10
sulfato de magnesio (33% Mg O)	2	3

Se demuestra aquí que las plantas al sol absorben muchos más nutrientes, pero también necesitan más para su producción.

En la figura 8-16 se mostraba que el fin principal del retiro de la sombra en el cultivo del cacao, era la fertilización. Y como el fertilizante reacciona poco en plantaciones sombreadas, se decidió retirar la sombra. En el cuadro 8-7, **Carvajal** (1972) nos demostraba que el rendimiento del café al sol era casi el doble del de la sombra.

La reducción del rendimiento en las plantaciones insoladas ocurre más rápidamente en suelos arenosos y con más lentitud, en los arcillosos, pero ocurre de todas maneras, de modo que finalmente se igualan las cosechas de plantaciones fertilizadas y no fertilizadas (21), debido a una compactación progresiva del suelo expuesto al sol y a las lluvias. Y **Cadima**, en el cuadro 9-1, muestra que, a medida que aumenta la resistencia al corte del suelo, disminuye el rendimiento del cacao.

En la figura 9-33 se muestra que el retiro de la sombra proporciona inicialmente un aumento del rendimiento, muy grande en los cultivos fertilizados. Con el correr de los años, esta ventaja se pierde: el efecto del fertilizante es cada vez menor hasta desaparecer en el octavo año de cultivo. El rendimiento en la sombra es más bajo, pero los costos de producción son mucho más bajos, de modo que el lucro está garantizado.

Experiencias más recientes muestran que una sombra de un 30 a un 40 % es más ventajosa que dejar el cultivo a pleno sol (52), permitiendo cosechas elevadas.

Resumen

El retiro completo de la sombra, para conseguir mayores rendimientos, fácilmente acarrea la decadencia física del suelo, cuando no se toman medidas especiales, como cobertura muerta, cultivos protectores o un menor espaciamiento. Una sombra de 30 a 40 % es la más ventajosa, porque permite el aprovechamiento total de los fertilizantes, y no expone al suelo a una rápida decadencia.

Cuando se hace necesario retirar la sombra, deberá haber otra protección del suelo, para garantizar su productividad.

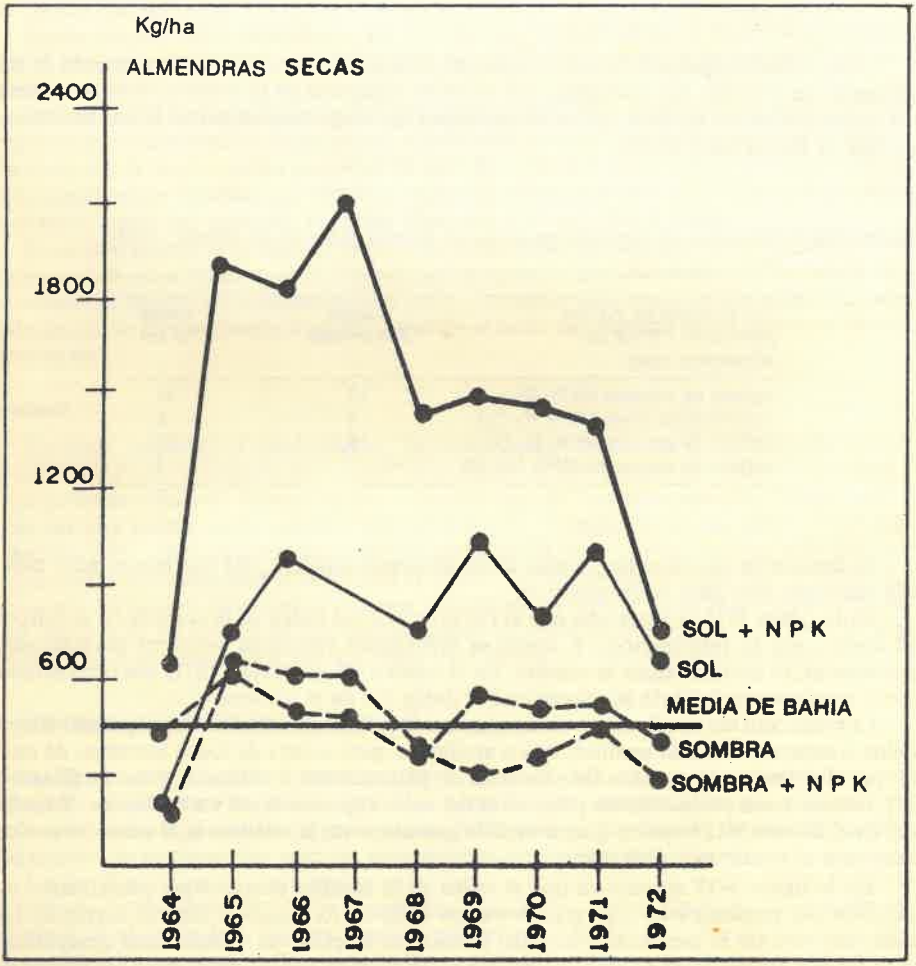


Fig. 9.33 *Efecto de sombra y sol sobre la producción de cacao, con y sin abono, en la Estación Experimental (***Cabala,** *1975).*

EL MANTENIMIENTO DE LA VIDA DIVERSIFICADA DEL SUELO Y LA SALUD VEGETAL

La vida del suelo incluye la microvida, especialmente microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos, pero también protozoarios, la fauna del suelo y las raíces.

Todos, prácticamente, necesitan de materia orgánica para su subsistencia. Hay una estrecha interrelación entre los seres vivos. Así, la fauna terrícola y los microorganismos contribuyen para la estructura grumosa estable al agua, controlan las excreciones orgánicas del suelo, contribuyen para la nutrición de los vegetales, y éstos, de los microorganismos y, en su conjunto diversificado contribuyen para una producción elevada de los cultivos.

Existe una influencia recíprocíclica de todos los factores, y cada medida ejecutada para "cultivar" el suelo se refleja sobre su vida, y de ahí, nuevamente sobre el cultivo, pudiendo ser el efecto muy diferente de lo esperado.

El manejo de la vida del suelo no es tan difícil, ya que no es necesario observar los microorganismos o animales minúsculos del suelo. Unicamente se necesita ver el resultado de su trabajo. Y éste se expresa:

1. en la estructura grumosa del suelo, resistente al agua (4, 58, 144),
2. en el vigor vegetal,
3. en la salud vegetal.

De la formación de capas compactadas, de costras superficiales, de suelos rajados, de plantas débiles y apestadas se puede sacar en conclusión que hay uno o varios factores en el manejo de la vida del suelo, que están errados (48).

Es importante concientizar que la vida del suelo necesita alimentos, y que la alimentación es el factor más importante de su control. El alimento es orgánico, y puede ser materia orgánica devuelta al suelo o excreciones radiculares de las plantas (ver capítulo 2), así como excreciones de animales terrícolas minúsculos o los propios microorganismos diferentes. La diversificación de la alimentación contribuye para la diversificación de la vida del suelo. Así, por ejemplo, un cultivo excreta siempre sustancias idénticas, de modo que el monocultivo "cría" microorganismos específicos, cuya proliferación descontrolada puede provocar la aparición de otros seres vivos que la aniquilan o puede tornarlos parásitos de plantas y de los cultivos. Lo mismo ocurre con la fauna terrícola.

El control de la microvida y mesovida del suelo se realiza:

1. por el retorno de materia orgánica al suelo (ver capítulo 4), que puede ser en forma de cobertura muerta, como fertilización verde o como paja superficialmente incorporada con una fertilización fosfocálcica,
2. por el encalado y la consecuente modificación del pH,
3. por una fertilización equilibrada que aumenta la resistencia de las plantas a las plagas. Lo que importa aquí es especialmente la relación entre los diversos nutrientes (macro y micro) tanto en el suelo como en la hoja,
4. por la rotación de cultivos,
5. por la protección del suelo contra la insolación y el impacto de las lluvias.

El retorno de materia orgánica y los métodos que pueden ser usados fueron ampliamente tratados en el capítulo 4. Básicamente se siguen tres principios: fertilización verde, para enriquecer el suelo con nitrógeno orgánico, fertilización con paja, incorporándola superficialmente, para recuperar la estructura grumosa del suelo, o usándola como cobertura muerta para proteger la superficie. No existe ningún microorganismo y hay muy pocos animales terrícolas que puedan vivir en un suelo insolado. Sin embargo, pueden sobrevivir en forma de esporos, o en forma deshidratada como lo hacen los nematodes, para recobrar la vida activa en épocas más favorables.

La fertilización como medida de protección del cultivo

El encalado y la fertilización poseen una acción pronunciada sobre la vida del suelo. Así, una fertilización masiva de nitrógeno posee un efecto depresivo sobre la fauna de los *Arthropoda* en general, como muestra la figura 9-34, de los cuales, especialmente los ácaros tienen un efecto regulador sobre los insectos. Es, pues, posible provocar una plaga por una elevada fertilización nitrogenada. Al mismo tiempo, el nitrógeno fácilmente predispone a las plantas a pestes, como muestra el cuadro 9-32, aunque sea un nutriente indispensable.

Se ha comprobado que a medida que aumenta la dosis de nitrógeno, disminuye el número de artrópodos que, por metro cuadrado de suelo, es de 180.000 sin nitrógeno y de 25.000 cuando se ha fertilizado con 144 kg/ha de nitrógeno.

Cuadro 9.32 *Efecto del nitrógeno amoniacal en la infestación de trigo con* Septoria tritici **(Jones,** *1976)*

Tratamiento	*Plantas infestadas promedio %*
testigo	77,3
N 1 (64 kg/ha de N)	87,9
N 2 (120 kg/ha de N)	95,5

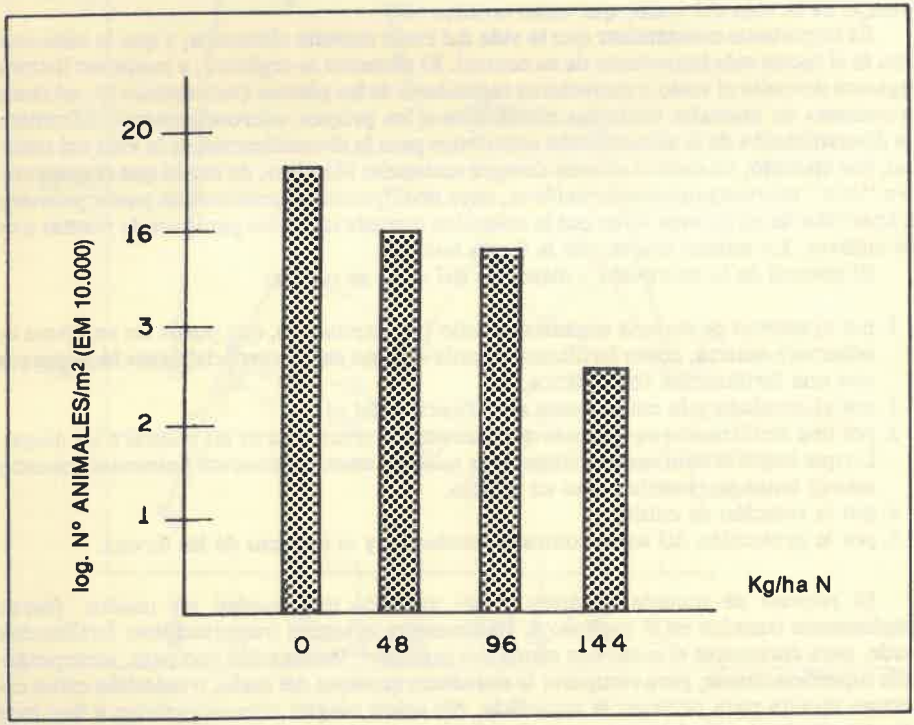


Fig. 9.34 *Efecto del nitrógeno mineral sobre la fauna de artrópodos en gramilla de jardín* **(Edwards,** *1975).*

Un efecto semejante del N se encuentra en otros cultivos (23). La proliferación de una u otra especie siempre es señal de una "presión interespecie" baja, o de una vida de suelo poco variada. En suelos arenosos, la proliferación de nemàtodes puede ser un factor de depresión de la cosecha, como nos muestra el cuadro 9-33.

Cuadro 9.33 *Comparación del promedio de composición química de nueve variedades de papas, susceptibles a nematodes (***Evans,** *1976)*

Suelo	*Nuevos suelos en la plantación*	*safra* t/ha	*Nutrientes en la mat. seca (%)* K	Ca	Mg	P	N	*Proporción* K/Ca
infestado	101	5,8	3,44	2,10	0,40	0,18	5,05	1,64
no infestado	0	29,4	4,15	1,58	0,37	0,31	5,45	2,62

En el cuadro anterior se verifica que la desproporción entre K/Ca es el factor más pronunciado. Y frecuentemente una mejor absorción de K aumenta la resistencia de las plantas a plagas y nematodes, independientemente de la infestación del suelo. Una planta bien nutrida puede soportar una carga elevada de nematodes sin ser perjudicada (28, 73), cap. 5. Los problemas surgen cuando la fertilización es unilateral en lugar de ser equilibrada.

Una fertilización no sólo debe nutrir a las plantas, ella puede hacerlas resistentes o susceptibles a enfermedades y plagas, dependiendo eso generalmente de la posibilidad de metabolizar rápidamente los nutrientes. Una gran cantidad de aminoácidos libres en la savia celular predispone a la planta a plagas, mientras que las proteínas formadas la protegen (68). Las fertilizaciones aisladas de nitrógeno, calcio, etc., pueden aumentar la susceptibilidad de las plantas, mientras que las fertilizaciones equilibradas y completas la protegen.

Cuadro 9.34 *Desarrollo de* Lepidosaphes becckii *en mandarinas, con diferentes fertilizantes (***Boukna-del,** *1969)*

Tratamiento	*N° de individuos en las hojas*		*N° de individuos en las frutas*	
	abril	*julio*	*octubre*	*diciembre*
testigo	8	28	287	3.163
con $K_2 SO_4$	129	8	100	1.743
con $Ca CO_3$	63	280	655	9.451
con KNO_3	69	97	244	1.673

Donde hay potasio incluido en la fertilización hay una disminución del ataque de los *Lepidosaphes*, mientras que un encalado aislado provoca un aumento muy pronunciado, por modificar la relación Ca/K que en todas las plantas es importante, como también todas las otras proporciones, como ya se dijo en el capítulo 8. Las proporciones entre los nutrientes son más importantes para la salud vegetal que los niveles absolutos de uno u otro nutriente, como nos recuerda la figura 9-35.

En el cacao, la producción máxima de masa seca tiene lugar cuando la proporción Ca + Mg/K es de 16,4 hasta 24,5, es decir, cuando el suelo es lo bastante rico en calcio y magnesio, teniendo, por ejemplo, un tenor de 1.952 ppm de Ca + Mg y 80 ppm de K.

La planta para ser sana y resistir a las pestes y plagas debe estar bien nutrida. Esta

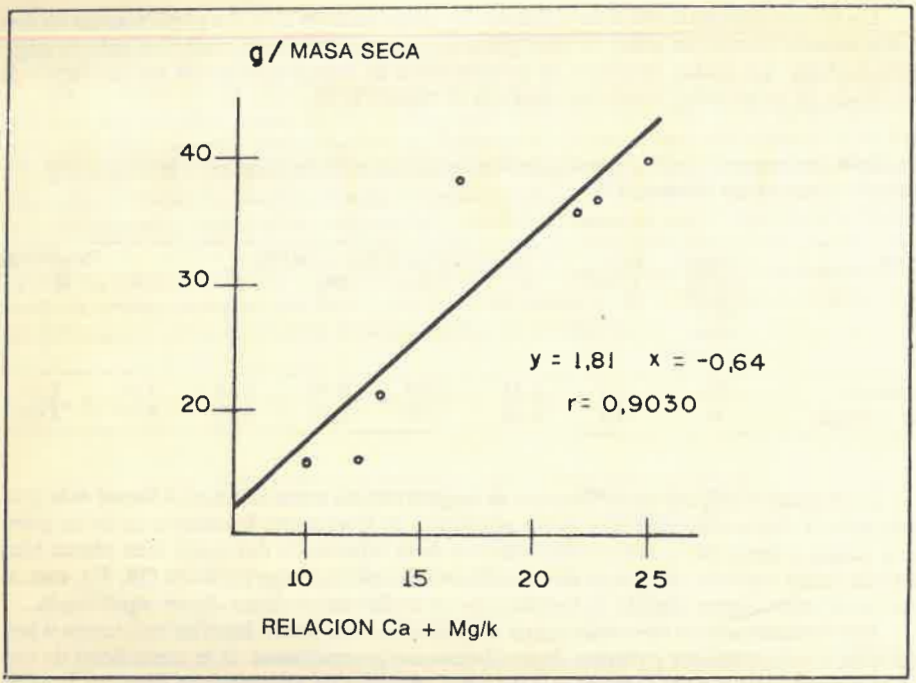


Fig. 9.35 *Influencia de la relación de Ca + Mg/k sobre la producción de masa seca de las plántulas de cacao (***Santana,** *1970/71).*

nutrición no es buena cuando una dosis grande de nitrógeno fuerza el desarrollo. En cambio, sí lo es, cuando la planta es capaz de metabolizar los nutrientes absorbidos en un tiempo reducido. Y para que esta metabolización sea rápida se necesitan:

1. proporciones correctas de los nutrientes, tanto de los macro como de los micro;
2. una buena bioestructura para garantizar el suministro de suficiente oxígeno y agua.

Cuanto más compactado está el suelo, tanto más lenta es la absorción, y tanto menos efectiva la metabolización. Sin una estructura grumosa no son posibles ni cultivos sanos ni rendimientos altos (8, 127, 132, 143, 155). Los suelos con bioestructura resistente al agua siempre reaccionan bien a los fertilizantes (140), y por lo tanto, contribuyen no sólo para la salud vegetal, sino también para una mejor calidad del producto. Pero, una bioestructura deficiente agrava seriamente la "pobreza" del suelo (63, 125, 131), tanto por la imposibilidad de que la raíz explore mayores espacios, como por la transformación de los elementos nutritivos en formas no aprovechables, y por la disminución de la eficiencia del metabolismo (capítulo 1). Las plantas deficientemente nutridas son atacadas con mayor facilidad por plagas y pestes (15, 23).

Una de las medidas más seguras de controlar la vida del suelo y la salud vegetal, y de aprovechar mejor los fertilizantes, es la rotación de cultivos.

ROTACION DE CULTIVOS

La rotación de cultivos, hasta el momento, no encontró muchos adeptos en Brasil, aunque se trate de un método eficaz de prevención de plagas y enfermedades, y de conser-

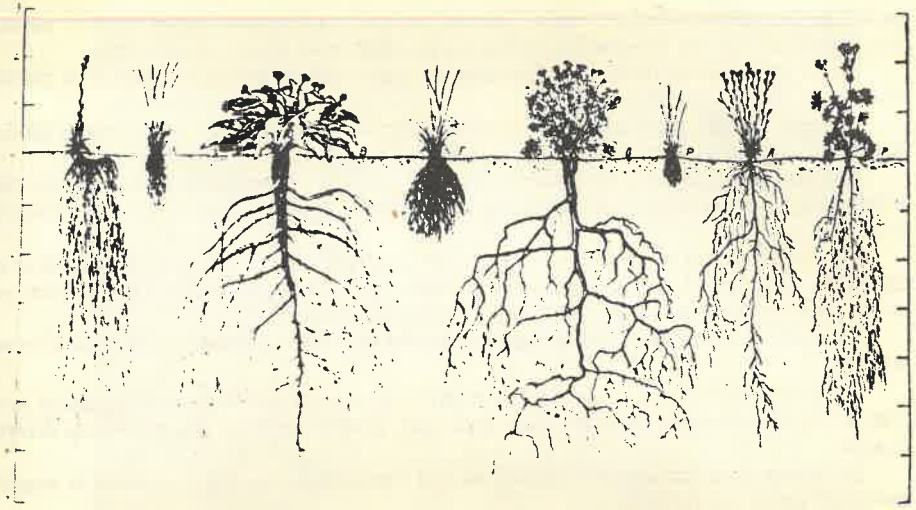


Fig. 9.36 *Enraizamiento de un suelo nativo por especies vegetales diferentes (***Weaver & Clement,** *1958; ver capítulo 2).*

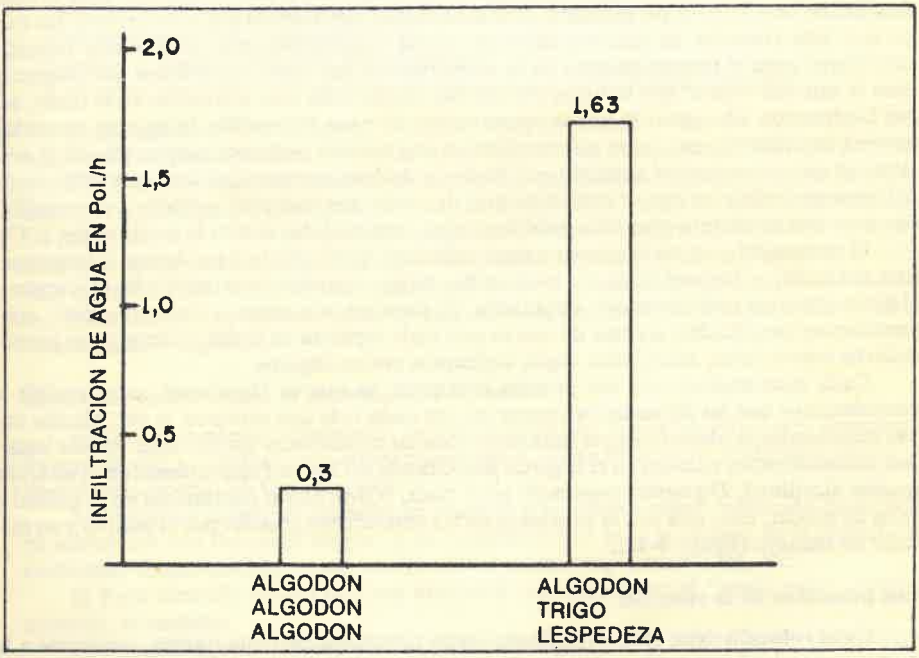


Fig. 9.37 *Efecto de la rotación de cultivos sobre la infiltración de la lluvia (***Wrigley,** *1969).*

vación de la productividad del suelo. Tal vez porque sea difícil de encajar en una plantación industrial, tal vez porque los resultados muchas veces no satisfagan (108).

Nadie pregunta las razones de fracasos, ya que se piensa que la rotación es la plantación de un cultivo diferente para "quebrar la monotonía del monocultivo".

Así, por ejemplo, la rotación trigo y trigo sarraceno *(Fagopyrum esculentum)* bajó el rendimiento del trigo. Fue una rotación equivocada, como la del algodón y maíz.

La rotación de cultivos no es un "cambio de cultivos" de manera arbitraria, más bien debe ser un restablecimiento del equilibrio biológico debilitado o destruido por el monocultivo.

Para comprender eso, se debe estar concientizado de que un equilibrio biológico es un equilibrio dinámico. No existen factores aislados, uno al lado del otro, lo que existen son interrelaciones muy estrechas y factores interdependientes.

La figura 9-36 esquematiza la exploración del suelo por sistemas radiculares diferentes.

La multiplicidad de plantas explora el suelo de manera diferente y lo enriquece también de manera diferente con sustancias orgánicas, posibilitando así una microvida diversificada.

La menor modificación introducida en este "ecosistema natural" provoca la modificación de todos sus factores.

Nuestros cultivos modifican el ambiente de una manera bien particular, por su selectividad en la absorción de los nutrientes, sus excreciones radiculares y toda su microvida característica de la rizosfera, su efecto sobre el pH del suelo, la absorción y transpiración del agua y el retorno de restos vegetales. Y con ello, cada cultivo "crea" su medio ambiente, con su micro y mesovida. De modo que *cada plantación agrícola* no está sólo compuesta de plantas diferentes: *es un ecosistema diferente.*

Cada ecosistema diferente introducido al suelo equivale a una revolución. Esta revolución puede beneficiar o perjudicar a otro ecosistema, perteneciente a otro cultivo. De modo que una rotación de cultivos debe ser hecha conscientemente. Como esta rotación contribuye para el mantenimiento de la bioestructura del suelo, contribuye no solamente para la sanidad vegetal que se beneficia con las condiciones más saludables en el suelo, como la aireación adecuada, la mejor conservación de agua disponible, la micro y mesovida aerobia heterótrofa, etc., sino que también es una medida poderosa para combatir la erosión y el escurrimiento del agua pluvial. Nadie se detiene a pensar que la mayor infiltración del agua equivale a un menor escurrimiento, de modo que todos los métodos que contribuyen para una estructura grumosa, estable al agua, son medidas contra la erosión (fig. 9-37).

El monocultivo es un ecosistema muy unilateral, por lo tanto hace decaer la bioestructura del suelo, se forman "pans", las cosechas bajan, aparecen la erosión y las crecientes y el último recurso es el abandono de la tierra. Se produce una aridez o "estepización", aparentemente inexplicable, a pesar de que es una regla repetida en todas las zonas con monocultivos comerciales, manejadas según conceptos antiecológicos.

Cada monocultivo cría sus propias invasoras, lo que es fácilmente comprensible si consideramos que las llamadas *invasoras* no son nada más que *ecotipos*, o sea, plantas cuyas necesidades se identifican perfectamente con las condiciones encontradas en este lugar. Así encontraremos nabisco en el trigo de Rio Grande do Sul, o *Papaveráceas* en el de Chile (suelos alcalinos), *Digitaria sanguinalis* en el maíz, o *Brachiaria plantagines* en el cafetal o caña de azúcar, etc., que son la expresión de las condiciones creadas por el cultivo y su método de manejo (figura 9-38).

Los principios de la rotación

Cada rotación debe estar organizada según principios bastante rígidos, conforme a la manera que el cultivo actúa sobre los factores del suelo y el cultivo siguiente.

Estos factores son:

Fig. 9.38 *"Invasoras" criadas por el monocultivo. Donde no se aplicó un herbicida específico aparecen, como esta Papaverácea en el trigo.*

1. el efecto sobre la bioestructura del suelo,
2. las exigencias en nutrientes,
3. el efecto de sus excreciones radiculares (62, 129, 181),
4. el agotamiento del agua del suelo,
5. pestes y plagas "criadas" por el cultivo,
6. el valor económico de los cultivos que forman parte de una rotación.

Nadie ignora que la sanidad de los cultivos y la productividad del suelo en un monocultivo, difícilmente podrán ser conservados. La defensa fitosanitaria, los métodos para el mejoramiento del suelo, el combate de las hierbas dañinas, la reducida eficacia de los fertilizantes y la influencia cada vez mayor del clima hacen que los monocultivos comerciales en los países tropicales sean extremadamente dispendiosos y en parte no rentables. Y nadie ignora que en un sistema de policultivo o de rotación de cultivos estos problemas se reducirían notablemente. Pero la racionalización de este policultivo permaneció, hasta ahora, incógnita, aunque ya existan ejemplos muy alentadores, como la rotación maíz + mucuna consorciada → algodón.

Efecto del cultivo sobre la bioestructura del suelo

a) El cultivo puede ser exigente, necesitando de una buena bioestructura grumosa sin, a pesar de ello, contribuir para su mantenimiento, como ocurre con el algodón, trigo, caña de azúcar y poroto de fomento (40).

b) El cultivo puede ser modesto en relación a la bioestructura, pudiendo desarrollarse en suelos con una densidad mayor, y no contribuyendo para la mejora de la estructura, al contrario, desgastándola, como ocurre con el maíz, sorgo, mandioca, etc.

c) Pero también existen cultivos modestos que mantienen el "statu quo", como por ejemplo, el centeno.

d) El cultivo puede ser reparador, contribuyendo para la recuperación de los agregados y grumos del suelo. Aquí se incluyen casi todas las gramíneas forrajeras de pequeño porte, y parte de las leguminosas, como guandú, serradela, kudzú, etc. (92).

El efecto depende siempre del sistema radicular de la planta, de modo que, por ejemplo, la alfalfa no es mejoradora porque la mayoría de sus raíces se desenvuelven a una profundidad considerable del suelo, mientras permite la compactación cerca de la superficie.

La mayoría de las leguminosas actúa no sólo sobre la estructura sino también especialmente sobre el enriquecimiento en nitrógeno del suelo.

Los pastos o capins de porte alto, como el elefante, "colonião" y Napier, generalmente no consiguen cubrir todo el suelo, por lo que en algunas zonas continúa su degradación. Las gramíneas de porte pequeño, normalmente contribuyen de manera eficaz para el restablecimiento de la bioestructura, debido a las excreciones de ácidos poliurónicos, así como a la gran cantidad de radicelas. Pero únicamente aquellas con raíces de vida corta, renovándose constantemente, contribuyen en la formación de grumos.

Plantas con raíces semiperennes, como la "barba-de-chivo", no contribuyen a mejorar la agregación del suelo.

Debemos tener en cuenta que en pasturas permanentes la tierra decae casi en la misma proporción que en los campos agrícolas. El mejoramiento más sustancial tiene lugar en cultivos de forrajeras segadas o para heno (76).

El valor de muchas leguminosas reside en el hecho de que crecen rápidamente enraizando las capas que han sido quebradas por el subsolador, y protegiendo la superficie del suelo con un follaje denso, como en el caso de mucuna, poroto menudo, kudzú, Lab-Lab y otras.

Las exigencias en nutrientes y la exploración del suelo

El espectro de nutrientes absorbidos por la planta es específico de la especie y de la variedad dentro de ella. Hay plantas que exigen y absorben grandes cantidades de potasio, como la alfalfa, el poroto, el tabaco, maíz, sorgo, papas, algodón y mandioca. Una rotación que incluye dos de estos cultivos es desacertada, porque acarrea un agotamiento unilateral de potasio. Así, por ejemplo, una rotación algodón - sorgo va a perjudicar seriamente al algodón, ya que la potencia radicular del sorgo es mucho mayor, consiguiendo movilizar potasio allá donde el algodón no consigue más.

Otro ejemplo: tanto lino como alfalfa y mandioca exigen el micronutriente boro. En una rotación lino - alfalfa se van a perjudicar mutuamente.

Es imprescindible que los cultivos de una rotación tengan exigencias nutricionales diferentes, como por ejemplo: maíz y soja. Pero es importante que el pH que necesitan, sea idéntico. Una rotación donde uno de los cultivos exige encalados frecuentes o elevados, y el otro tolera suelos ácidos, como es el caso de soja - trigo, tiene que perjudicar al cultivo acidófilo, que es el trigo. Por otro lado, se espera una explotación adecuada de los fertilizantes. El cultivo que más aprovecha o necesita los fertilizantes debe ir primero, recibiendo la mayor fertilización, como por ejemplo trigo, algodón, tabaco o poroto. Los cultivos con mayor potencial radicular aprovechan los restos del primero, como el maíz, sorgo, batata, soja, maní, etc. Estos cultivos dejan el suelo pobre y en estado físico de regular a malo, y se hace necesario, por lo tanto, otro cultivo posterior que recupere el suelo, movilizando nutrientes fijados y mejorando la bioestructura, como podrían hacer las leguminosas forrajeras, que en parte movilizan fósforo y fijan nitrógeno. Los cereales empobrecen el suelo, las gramíneas forrajeras lo enriquecen.

¡Cuánto más caros son los fertilizantes, tanto más importante es una economía racional de los nutrientes del suelo!

Efecto de las excreciones radiculares

Cada especie vegetal y cada variedad poseen excreciones radiculares que les son propias. Estas sirven para "ahuyentar" las raíces de otras plantas que son tóxicas para ellas. Con esto defienden su espacio radicular contra la invasión de otras raíces.

Las raíces con exigencias semejantes no se toleran mutuamente, porque también excretan sustancias parecidas, que les son hostiles. Así, muchas plantas de cultivo son auto-intolerantes, soportando mal el monocultivo, perjudicándose nomás con las excreciones dejadas en el suelo por la cosecha precedente de la misma planta. Por ejemplo, arvejas, poroto, lino, etc., son auto-intolerantes.

La cantidad de años de monocultivo que soporta un suelo depende de su poder "buffer" o tampón. En suelos arcillosos y con tenor adecuado de materia orgánica, la disminución del rendimiento por el monocultivo puede ocurrir después de años, mientras que en suelos arenosos, pobres en materia orgánica, el efecto desfavorable del monocultivo puede aparecer en el segundo año.

Las excreciones radiculares dejadas en el suelo no sólo lo enriquecen en diversas sustancias, sino que también modifican su potencial enzimático, de modo que las condiciones pueden tornarse favorables o desfavorables, tanto para otros cultivos, como para las semillas y su germinación (129).

Se sabe que existen semillas que pueden sobrevivir en el suelo durante muchos y muchos años sin poder germinar, simplemente porque las condiciones les son hostiles a su desarrollo (ver capítulo 2), de manera que el nacimiento de las plantas no sólo depende del poder germinativo y de la fuerza germinativa de las semillas, sino también de las condiciones del suelo (fig. 9-39). Una prueba de germinación de trigo en suelo de la rizosfera de diversos cultivos mostró diferencias estadísticamente significativas en relación al testigo (germinación en placa con arena), siendo el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) el más desfavorable para el trigo, mientras que el Lab-Lab (*Dolichos Lab-Lab*) era el más favorable.

El efecto radicular perdura también en el cultivo. Ninguna raíz entra en un espacio de suelo tomado por congénere. Por lo tanto, el suelo de monocultivo siempre está mal enraizado, dando margen a la erosión (figura 9-40). En cultivos mixtos o intercalados el enraizamiento puede ser perfecto, si las especies de las plantas se combinan. Diversas especies pueden enraizar el mismo espacio de suelo, siempre que tengan exigencias nutricionales

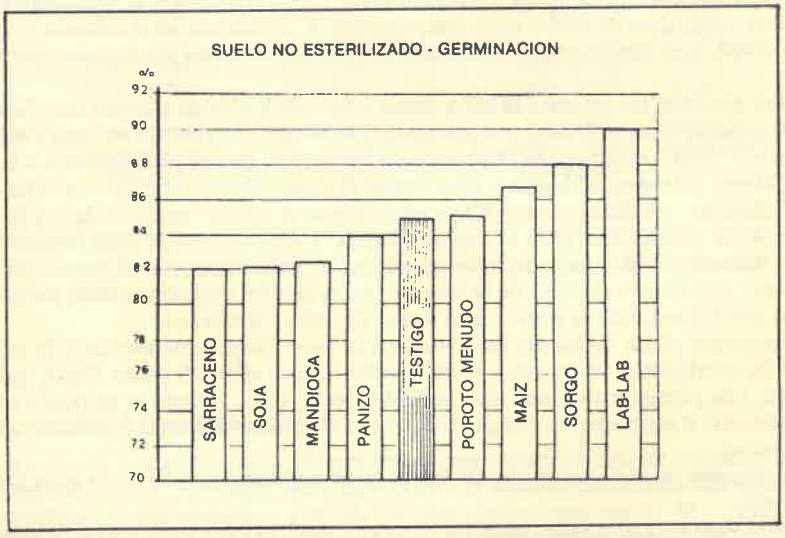


Fig. 9.39 *Efecto de las excreciones radiculares sobre la germinación de trigo (***Primavesi & Machado,** *1968)*

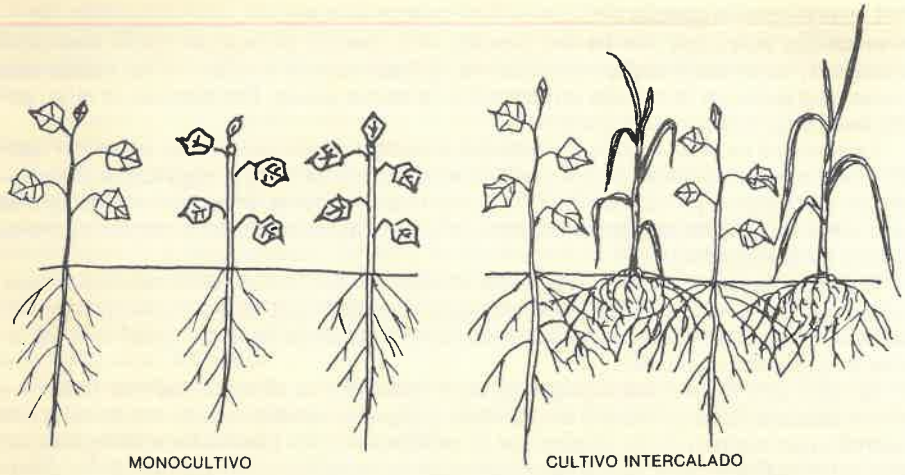


Fig. 9.40 *Enraizamiento del suelo con monocultivo y con cultivo intercalado (***Kutschera***, 1960; ver capítulo 2).*

diferentes y diferentes excreciones radiculares, que hasta pueden ser absorbidas directamente por la otra especie, contribuyendo así para su mejor desarrollo, como ocurre con el maíz y el "poroto-de-puerco" (*Canavalia ensiformis*), o maíz y guandú (*Cajanus indicus*).

La permanencia de un monocultivo en un campo no depende únicamente de las excreciones radiculares y de la microvida seleccionada, también depende de las hierbas invasoras inducidas por el cultivo, y que, después de algunos años, se vuelven dominantes. La persistencia de una determinada especie de invasoras se debe al agotamiento unilateral de algunos nutrientes y al cúmulo de otros, a las excreciones radiculares que en parte pueden aprovechar directamente, y a la bioestructura del suelo (111). Así, donde se encuentre guanxuma, es una señal típica de suelos muy compactados. Y la amapola en el centeno es legendaria en Europa, pues nace como consecuencia de la reducida absorción de calcio por el cultivo.

Entre nosotros (se refiere a Brasil y zonas tropicales), el trigo siempre beneficia al nabisco (*Raphanus raphanistrum*), porque agota el suelo unilateralmente en boro y manganeso. El arroz "cría" capim-arroz (*Echinochloa crusgallii*), que es poco sensible a la toxicidad del hierro y del gas sulfhídrico, soportando el anaerobismo del suelo. La caña de azúcar es fácilmente invadida por *Brachiaria plantaginea*; el capim "mermelada", y la centrosema crea las condiciones para el capim-pangola. Debemos tomar cada invasora como "planta indicadora" de una condición específica del suelo creada por el monocultivo (76). El combate mecánico o químico de la invasora no la elimina definitivamente, porque mantiene las condiciones que la provocaron y que ella está "indicando".

El combate eficaz de las hierbas invasoras se hace únicamente mediante la modificación de las condiciones creadas por el monocultivo, sean ellas del sector físico, químico o biológico. Las plantas nativas son muy sensibles a esto, y por lo tanto se las puede combatir más fácilmente o simplemente desaparecen, como el nabisco del trigal fertilizado con boro y manganeso.

La rotación de cultivos es una de las mejores medidas para combatir a las invasoras persistentes.

Según sean las excreciones radiculares, los cultivos pueden beneficiarse, como soja al tabaco, pueden tolerarse, como soja y trigo, o pueden perjudicarse, como soja a la avena. Los beneficios de un cultivo hacia otro derivan del hecho de que el beneficiado puede utilizar directamente sus excreciones radiculares, como ser los aminoácidos.

Cuadro 9.35 *Correlación entre los cultivos*

Factor	*Exigentes*	*Modestos*	*Recuperadoras*	
estructura	trigo, cebada, algodón, lino, caña, yute, tabaco, arveja, papa	maíz, sorgo, arroz, centeno, avena, maní	"p. gordura", festuca, "p. pangola", poroto menudo, guandú, batata	
	Exigentes	*Aprovechadores*	*Agotantes*	*Movilizadores*
nutrientes	trigo, cebada, algodón, caña de azúcar, poroto	maíz, maní, soja, arveja, centeno	sorgo, altramuz, sarraceno, mandioca, mijo	poroto menudo, kudzú, guandú, centrosema, etc.
	sufren de los mismos hongos patógenos	aumentan nematodes en el suelo	neutros a nematodes	disminuyen nematodes en el suelo
pestes y plagas	trigo, cebada, arveja	poroto, trébol, avena, papa, amapola, crucíferas, *Canabis sat.*	tabaco, soja	maíz, alfalfa, "pangola", centeno
	Exigentes	*Modestos*	*Agotantes*	
agua	papa, maíz, algodón, arroz, forrajeras	trigo, avena, cebada, centeno	sorgo, girasol, alfalfa, algunos mijos	
	Se benefician	Se toleran	Se perjudican	Intolerantes consigo
excreciones radiculares	soja→tabaco, guandú→maíz, guandú→algodón, tabaco→caña, crotalaria→caña, festuca→papa	soja→maíz, soja→trigo, trigo→trigo, trigo→sorgo, maíz→maíz, arroz→arroz, cebada→trébol	soja→avena, soja→maní, mandioca→maíz, trigo→lino, sarraceno→trigo, lino→girasol, lino→arveja, cebada→trigo	poroto, arveja, lino, avena, trébol rojo, kenaf

Obs.: Se debe tener cuidado cuando cereales de granos menudos (arroz, trigo) siguen a fijadores de nitrógeno. (Compilado por **Primavesi.**)

El agotamiento del agua del suelo

Los cultivos desecantes del suelo son peligrosos, especialmente en zonas semi-áridas, en regiones donde las capas compactadas impiden la normal infiltración del agua, donde hay "veranicos" frecuentemente, y donde las altas concentraciones de Al y Mn en el subsuelo limitan la utilización del agua de éste. Aun en condiciones normales climáticas y de suelo, no se aconseja la secuencia de dos cultivos agotadores de agua.

Se puede distinguir:

a) cultivos que agotan el suelo en agua, como el sorgo, girasol, alfalfa, estilosantes, etc.,
b) cultivos no agotantes, como mijo, cereales en general y leguminosas en su mayoría.

Debemos diferenciar entre cultivos que necesitan de mucha agua para la producción de un kilogramo de sustancia seca y plantas que tal vez no necesiten de tanta agua, pero que agotan el suelo hasta grandes profundidades, porque lo "drenan". Así, el girasol, alfalfa o sorgo crecen muy bien en regiones semi-áridas, pero son altamente agotadores, de tal forma que los suelos demoran tres años en recuperar su poder productivo. Agotan el suelo igualmente en boro y potasio y no sirven para suelos ácidos, pero son "recuperadores" de los suelos salinos.

También existen invasoras que "drenan" el suelo, como las carquejas *(Baccharis spp).*

Pestes y plagas "criadas" por los cultivos

Quien haya leído atentamente el capítulo sobre microbiología sabe que cada planta, a través de sus excreciones radiculares y de la materia orgánica que devuelve al suelo, cría una microflora específica (46) especializada en descomponer estas sustancias. Y esta microflora a su vez, permite el aumento de una u otra especie de animales terrícolas que la usan como alimento. El beneficio unilateral de alguna especie de micro y meso seres provoca su proliferación hasta que llega a ser parásita como *Fusarium, Rizoctonia, Pseudomonas,* etc., que pueden pero no necesitan ser parásitas; o permiten la multiplicación de patógenos a los cuales les faltaron los enemigos (ver figura 5-19).

Cada espectro de microflora da origen a una determinada fauna terrícola, en parte porque le sirve de alimento, en parte porque no hay quien la hostilice. Pero también las raíces de las plantas pueden servir de hospedantes de plagas, por ejemplo, los nematodes que prefieren especialmente las leguminosas, pero que atacan igualmente muchos otros cultivos.

Se distinguen, por eso, cultivos:

a) compatibles en relación a pestes;
b) incompatibles, como trigo —cebada, tabaco— papa, o los tréboles entre sí.

El "cansancio" del suelo con respecto a un cultivo, como ocurre fácilmente con el tomate, la papa, avena, kenaf, tréboles, soja, poroto, etc., se debe en gran parte a la multiplicación excesiva de nematodes. Su peligro es mayor en suelos arenosos y francos, porque permiten facilidad de movilización. En suelos arcillosos, los nematodes no constituyen un peligro devastador. En suelos fértiles, ellos atacan a las plantas, pero éstas los toleran y rara vez se ven perjudicadas (ver capítulo 5). El combate a los nematodes es verdaderamente difícil, pues pueden sobrevivir a condiciones adversas en forma deshidratada hasta por 35 años. Con una rotación inteligente de cultivos se pueden criar predadores que los eliminen.

Para controlar pestes y plagas por medio de la rotación, se necesita:

2 a 3 años para enfermedades fungosas
3 a 5 años para nematodes instalados en el suelo
5 a 6 años para insectos.

El tiempo depende de la textura del suelo, su tenor en humus, su riqueza en minerales y su actividad microorgánica. En suelos pobres y arenosos las plagas y pestes siempre serán más persistentes, y en clima cálido son cada vez más devastadoras.

Valor económico de los cultivos que forman parte de la rotación

Normalmente se exige que cada cultivo plantado sea económicamente justificable. A veces, sin embargo, es preferible plantar un cultivo francamente recuperador, a pesar de que en el mercado tenga un precio bajo, pero que aumente la producción del cultivo siguiente de tal manera que valga la pena ser plantado. El problema está en hacer un buen

cálculo para que el capital que está en suspenso rinda en el paso de uno a otro cultivo. (Ejemplo: Crotalaria-caña de azúcar).

Las recuperadoras más vigorosas son las forrajeras, que a pesar de todo tienen que ser muy bien manejadas. Generalmente la forrajera fenada tiene un mayor efecto recuperador que la forrajera pastada, debido a que la primera presenta un sistema radicular más desarrollado.

Para hacer una rotación de cultivos es imprescindible que:

1. los cultivos se beneficien mutuamente (soja-tabaco),
2. aprovechen al máximo el fertilizante aplicado, plantándose siempre un cultivo exigente y uno aprovechador (trigo-soja),
3. usen de preferencia las mismas maquinarias,
4. no coincidan en los picos de trabajo,
5. mantengan el suelo siempre cubierto,
6. recuperen el tenor en materia orgánica,
7. conserven la bioestructura del suelo,
8. restrinjan las pestes, plagas e invasoras,
9. mantengan elevada la producción,
10. sean cultivos de la región que tengan mercado compensador.

Hacer una buena rotación es una ciencia que exige alguna experiencia por parte del agricultor. Y hay que tener en cuenta una particularidad: si la bioestructura está conservada y la nutrición vegetal garantida, el suelo es arcilloso y con un poderoso poder "buffer" o tampón, la disminución del monocultivo podrá ser atribuida a la microflora del suelo. Esta se torna primero unilateral, perjudicando francamente al cultivo, pero después de un lapso que varía entre 12 y 15 años, se establece un nuevo equilibrio con la creación de pre-

Cuadro 9.36 *Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas del monocultivo y la rotación.*

Monocultivo		*Rotación de cultivos*
ventajas		desventajas
planeamiento más fácil	- 1-	planeamiento más difícil
menos capital en suspenso	- 2-	más capital suspendido, especialmente en máquinas
mecanización más fácil	- 3-	a veces, mecanización más difícil
mano de obra más fácil de especializar; por lo tanto, más eficiente	- 4-	depende mucho de un buen capataz que dirija los trabajos
sólo un pico de trabajo	- 5-	varios picos de trabajo
comercialización más fácil	- 6-	comercialización, a veces, por diferentes cooperativas
créditos más fáciles	- 7-	dificultades de créditos para cultivos de menor expresión económica
a veces con subvencionamiento	- 8-	
desventajas		ventajas
extremadamente dependiente del clima	- 9-	menos dependiente del clima
arruina el suelo, se pierde productividad	-10-	conserva el suelo y su productividad
exige épocas de abandono para descansar	-11-	no necesita descanso sin cultivar
induce a pestes y plagas	-12-	controla pestes y plagas
reduce gradualmente el rendimiento	-13-	mantiene y aumenta el nivel de rendimiento
provoca hierbas invasoras persistentes	-14-	controla las hierbas invasoras
extremadamente dependiente del precio del mercado	-15-	menos dependiente de las oscilaciones del mercado
sujeto a crisis económicas	-16-	más estable en crisis económicas
fuertemente dependiente del mercado externo	-17-	poco dependiente del mercado externo
hace al país dependiente de importaciones de alimentos	-18-	hace al país autosuficiente
se dedica a la producción de cultivos, no alimentando al pueblo	-19-	evita el hambre y trae prosperidad general
hace que la economía nacional dependa de compradores extranjeros	-20-	hace una economía nacional independiente
	-21-	es la base de cualquier progreso sólido y duradero

dadores de los hongos, y las cosechas del monocultivo comienzan a subir nuevamente. Pero es condición básica que todos los otros factores sean favorables. En suelos con su bioestructura decaída, será en vano esperar un aumento de la cosecha (fig. 9-41).

LA EROSION

Generalmente en zonas tropicales se da una gran importancia a la lucha contra la erosión, combatiendo el escurrimiento del agua pero no tomando providencias para aumentar su infiltración. Este tema fue tratado en el capítulo 7, la bioestructura del suelo, y se estableció que para un suelo con su bioestructura intacta prácticamente no existe lluvia tan fuerte que no pueda infiltrarse, como muestra también el cuadro 7-7.

Por lo tanto, todas las medidas de protección del suelo tropical son, al mismo tiempo, medidas contra la erosión. La arada mínima y la plantación directa, la cobertura muerta, el cultivo protector, los cultivos consociados, la fertilización completa incluyendo los micronutrientes, etc., representan medidas antierosivas, ya que la productividad del suelo tropical, en gran parte, depende de su estructura activa.

La erosión, las crecientes y la sequía son solamente síntomas de una bioestructura decaída. Y ello puede ocurrir tanto en pasturas mal manejadas como en campos agrícolas (figuras 9-42 y 9-43).

La erosión se instala donde la tierra está desnuda, ya sea por pisoteo animal en pasturas mal conducidas (figura 9-45), o por la instalación deficiente de forrajeras en suelos decaídos (figura 9-46), o en campos agrícolas mantenidos "a limpio" (figura 9-47), o por la

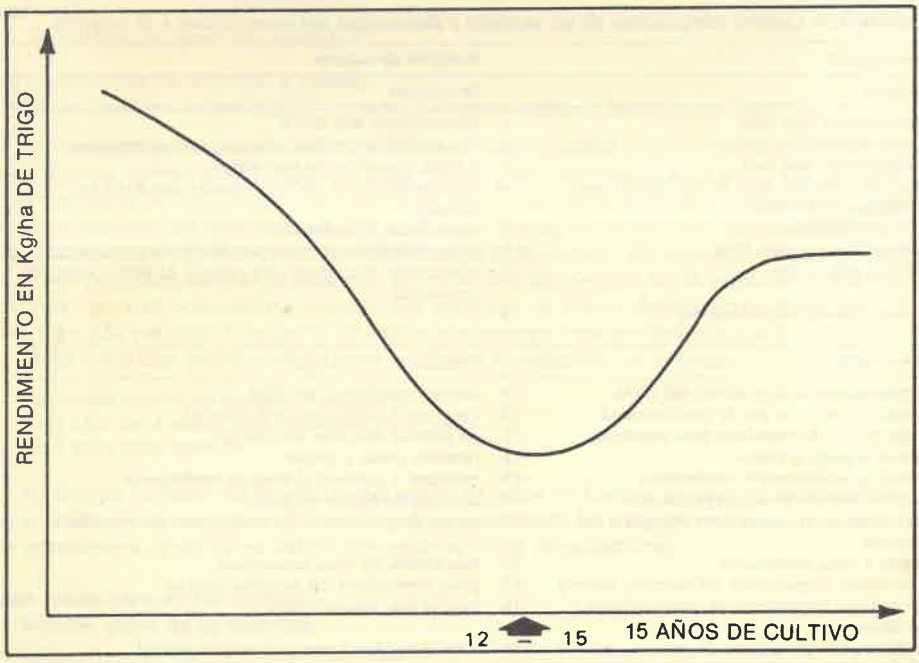


Fig. 9.41 *El monocultivo de trigo y la oscilación del rendimiento con el correr de los años, debido a la flora fungosa del suelo (***Pauli,** *1967; ver capítulo 6).*

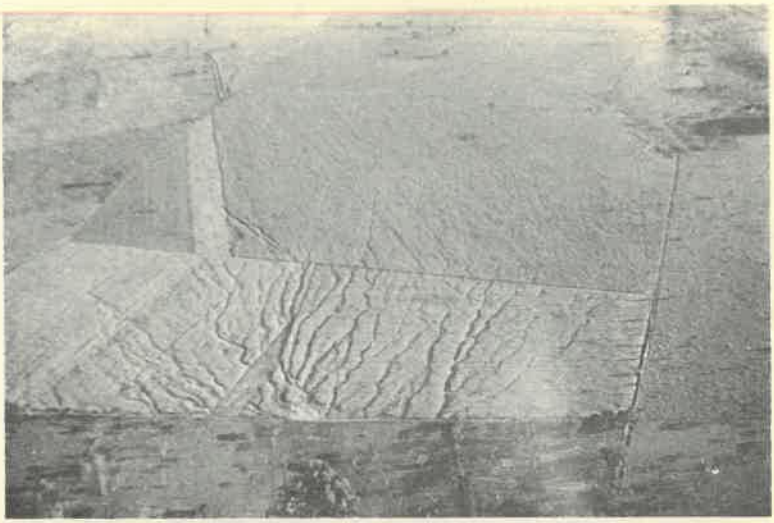


Fig. 9.42 *Campo agrícola surcado por la erosión.*

Fig. 9.43 *Pastura permanente en una ladera, donde el pisoteo animal y el agua escurriendo de campos agrícolas provocaron la erosión.*

arada profunda demasiado para las condiciones del suelo (figuras 9-3b y 9-3c), o por la compactación de la superficie del suelo por las máquinas (figura 9-47). Pero para desnudar el suelo o para compactarlo no se necesita de máquinas pesadas o aguaceros. La destrucción de los grumos superficiales puede ser hecha hasta por la pata de una hormiga (figura 9-48).

Por lo tanto, no existe un manejo contra la erosión en especial ya que se encuadra en el manejo general del suelo tropical.

Fig. 9.44 *Cerca suspendida en el aire, debido a la formación de una zanja de erosión* (vossoroca).

Fig. 9.45 *Pasturas con partes desnudas por causa de un pastaje permanente.*

Fig. 9.46 *En un campo desmontado con tractor con pala frontal el capim-gordura se instaló deficientemente, no naciendo en las zonas donde había sido raspado el suelo superficial.*

Fig. 9.47 *Campo de maíz mantenido limpio por herbicida.*

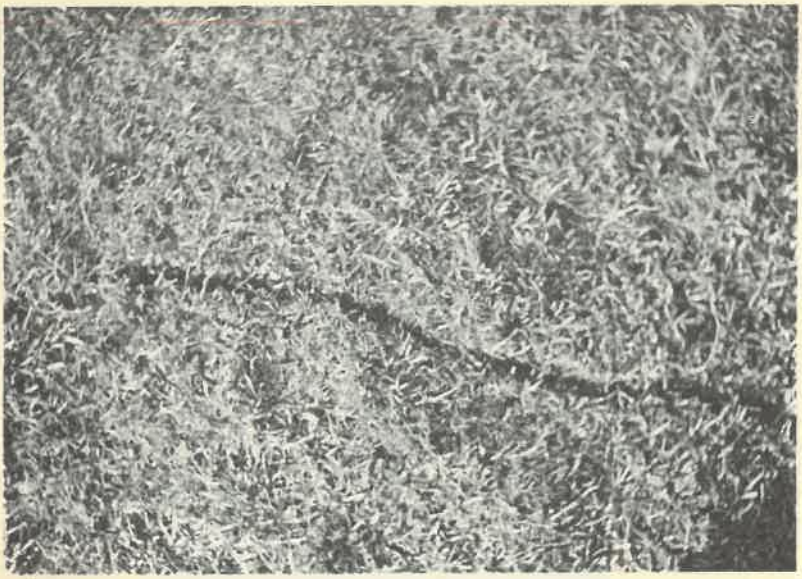


Fig. 9.48 *Rastro de hormigas en una pastura.*

EL ENCALADO Y LA FERTILIZACION RACIONAL INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO

Como ya fue tratado en el capítulo 8, tanto el encalado como la fertilización pueden ser usados para corregir el suelo y aumentar la producción, pero también para mejorar la calidad biológica del producto. Así, el encalado puede aumentar la susceptibilidad del cultivo a la sequía cuando se lo aplica en la capa superficial donde contribuye a elevar la presión osmótica. Pero también puede, contrariamente, contribuir a que los cultivos sean más resistentes a la sequía.

1. por la mejor provisión de las plantas con Ca (capítulos 1 y 8);
2. por la posibilidad de que las raíces penetren en las capas más profundas del suelo, gracias a la eliminación de la toxicidad del aluminio (77).

Muchos de los cultivos brasileños están adaptados a concentraciones mayores de aluminio, como café (88), cacao (146), pero también el trigo y algunas variedades de soja, de modo que no se trata tanto de la eliminación del aluminio intercambiable del suelo, sino de crear una proporción adecuada con los demás cationes (capítulo 8).

Es más importante aplicar calcáreo al subsuelo, que aplicar cantidades masivas (20 t/ha) al suelo superficial.

La técnica de aplicar calcáreo al subsuelo puede ser:

a. colocar el calcáreo para el cultivo anterior plantado con cobertura muerta. Mediante las lluvias, el subsuelo recibirá el calcáreo lixiviado de la capa superior (7);
b. colocarlo en "cochos", o sea, en hoyos hechos alrededor de los árboles frutales, llenándolos de calcáreo (185).

No se aconseja su aplicación en una arada profunda.

Según **Geus** (185), el encalado para los siguientes cultivos debe ser hecho de la siguiente forma:

Algodón: es tenido como cultivo desalinizante. Necesita mucho de magnesio y requiere calcáreo dolomítico. En el "cerrado" conviene aumentar, por hectárea cultivada, 5 a 8 kg de bórax y 20 a 40 kg de sulfato de cinc. Es importante controlar la proporción con el potasio, que es el responsable por la calidad de la fibra.

Arroz irrigado: necesita un nivel relativamente alto de calcio y magnesio en el suelo y produce menos en presencia de una cantidad elevada de sustancias reducibles como NO_3, SO_3, Mn + + +, etc. (ver arroz irrigado en este capítulo).

Arroz de secano: para ser resistente a las enfermedades fungosas necesita un equilibrio K/Ca + Mg de 8 a 10. El encalado aplicado puede elevar el pH hasta 6,0. En el "cerrado" se debe aplicar igualmente 3 a 12 kg/ha de sulfato de cinc.

Batata: no soporta un encalado, pero necesita de calcio. Se usa calcáreo dolomítico con 10 a 12 % de MgO y, cuando el pH sube sobre 5,6, deben ser aplicados 8 kg/ha de bórax y 20 a 25 kg/ha de sulfato de manganeso. Es preferible no colocar nunca más de 1.000 kg/ha de calcáreo.

Juta: el calcáreo debe ser aplicado, como mínimo, 6 meses antes de la plantación, y 1 t/ha es suficiente.

Lino: es muy sensible al aluminio intercambiable. El lino para aceite necesita más calcio que el lino para fibra. Generalmente reacciona de una manera positiva a un encalado entre 1,0 y 2,0 t/ha, y de manera negativa a un encalado mayor. No conviene plantar lino en suelos con una CTC menor que 15 e.mg%.

Maíz: las variedades de ciclo largo necesitan menor concentración de nutrientes en el suelo que las variedades de ciclo corto. La cantidad de calcáreo debe ser tanto mayor cuanto mayor es la "población" de maíz en el campo, y cuanto mayor es la fertilización con NPK. Pero es prudente no aplicar dosis mayores que 3 t/ha por año, aunque se precisen 15 t/ha para equilibrar el suelo, ya que el peso de los granos depende de la proporción K/Ca + Mg.

Mamona: es muy exigente en relación a la bioestructura del suelo, al tenor en materia orgánica, y es muy sensible a las lajas o capas impermeables que impiden la penetración radicular. Cuando se usa una fertilización con NPK, 800 kg/ha de calcáreo serán lo correcto para mantener el equilibrio con el potasio (K/Ca + Mg).

Mandioca: En suelo arenoso no reacciona bien a una fertilización comercial porque aumenta la presión osmótica del suelo más allá del nivel que la planta puede soportar. Reacciona mejor a abonos orgánicos y harina de huesos.

Maní: necesita la mayor parte del calcio en la zona de las vainas pero a la vez necesita el suficiente manganeso para su desarrollo. Se aplica, por lo tanto, para el cultivo precedente calcita o conchillas molidas (600 a 1.000 kg/ha) y se aplica en cobertura 450 kg/ha de sulfato de calcio (yeso) cuando las plantas alcanzan 15 a 20 cm de altura, y una segunda dosis inmediatamente después de la florescencia. No conviene aplicar todo el yeso de una sola vez.

El maní se desarrolla mejor en suelos pastoriles recién dedicados a cultivo. En suelos deficientes en materia orgánica producirá poco, aun con fertilización y calcio en cobertura.

Papa: es sensible a la deficiencia de manganeso, hierro, boro y magnesio. En suelos muy ácidos (pH 4,0) se usa 1 t/ha de calcáreo dolomítico antes de efectuar la plantación. En suelos con un pH de 5,3 hacia arriba se usa yeso en cobertura (450 kg/ha).

Poroto: cuando falta calcio, las flores son estériles y el grano no se forma, cuando falta potasio, los granos son "chuzos". Necesita el encalado para mantener su proporción con el potasio. Pero como todas las leguminosas necesitan de un nivel adecuado de Mn en el suelo, se aconseja aplicar el encalado para el cultivo precedente, o adicionar a cada tonelada de calcáreo 10 kg de sulfato de manganeso, cuando se lo va a usar en un suelo con pH alrededor de 5,2 a 5,6.

Soja: la mayoría de las variedades necesita de una corrección del suelo hasta un pH 6,1, sin embargo, existen variedades que son bastante tolerantes al aluminio. Exige buenos niveles de materia orgánica y de manganeso.

Para suelos arenosos se aconseja menores aplicaciones de calcáreo, para no fijar el manganeso indispensable.

Sorgo: aunque necesite suelos con elevados niveles de calcio, no se aconseja un encalado para el cultivo, que es sensible a la deficiencia de hierro. Se usa un encalado para el cultivo precedente, como por ejemplo, soja.

Trigo: aunque el trigo brasileño está adaptado a mayores niveles de aluminio (hasta 2 e.mg%), no dispensa el nutriente calcio, que debe existir alrededor de 3 a 4 e.mg% en el suelo.

Verduras: la mayoría de ellas necesita de calcio y magnesio, especialmente debido a las pérdidas elevadas como consecuencia de la irrigación. Se pierden por hectárea y por año en nutrientes:

kg:	30-60 de N	300-400 de CaO
	1,0-2,5 de P_2O_5	20-40 de MgO
	20-50 de K	
g:	150-250 de boro	
	150-300 de manganeso	
	15-30 de cobre	

Sin embargo, la fertilización se torna antieconómica, cuando baja el nivel de materia orgánica en el suelo.

Los cultivos perennes tropicales, generalmente se adaptan a los suelos ácidos. Por ejemplo, el *ananá* absorbe grandes cantidades de calcio, pero con mucha facilidad reacciona negativamente a un encalado porque liga los nutrientes. Se aplica el calcáreo para un cultivo forrajero, cuyo último corte permanece en el campo como materia orgánica, enriqueciendo el suelo para el ananá. En los *bananos*, el encalado no causa problemas, pudiéndose aplicar 400 a 500 g por planta. En el *cacao*, que es exigente en calcio, la saturación de la CTC debe ser, como mínimo, de un 24 % con calcio. En el cultivo sombreado el efecto de un encalado es pequeño.

En la *caña de azúcar* únicamente se usa un encalado cuando el aluminio de cambio sube por encima de 1,5 e.mg%. Lo que la afecta más son las condiciones físicas desfavorables del suelo, es decir, las compactaciones.

En los *cafetos*, es común la aplicación de calcáreo de 0,5 a 2,2 kg/por planta. En suelos con grandes cantidades de óxido de hierro libres, el encalado produce un efecto pronunciado.

Las *plantas de té* son de las más exigentes en manganeso. El calcio debe ser aplicado, entonces, en forma de sulfato, de la misma forma que todos los otros nutrientes.

Los *cítricos*, aunque son muy exigentes en calcio y magnesio, se ven fácilmente perjudicados por el encalado, por no poder soportar concentraciones elevadas de cationes cerca de las raíces. Se aplica el calcáreo, 250 a 300 g por planta en medialuna entre 0,70 y 2,0 m de distancia del tronco, siempre al final de la estación de las lluvias.

Los *coqueros* necesitan grandes cantidades de magnesio y potasio. Se coloca el calcáreo en una faja de 0,50 a 2,00 m del tronco, cuidando que el pH no sobrepase 5,8.

En el *dendezero* el encalado debe estar orientado por la CTC del suelo. Se puede aplicar calcáreo dolomítico con alto tenor en magnesio, mientras el pH se mantenga por debajo de 5,2. La época de aplicación es el fin de las lluvias. Es especialmente exigente en micronutrientes como boro, manganeso y cobre.

En el *mamón* se aconseja la aplicación de calcáreo junto con materia orgánica, cada vez que el pH descienda por debajo de 6,0.

El *olivo*, árbol de regiones con rocas calcáreas y clima seco, es muy exigente en calcio, poseyendo el palo del año pasado un tenor medio de 5,3 % de CaO. Como los árboles poseen raíces muy superficiales, la fertilización y el encalado se hacen en "cochos" pequeños

pozos, abriéndose hoyos de 20 a 50 cm de 0,50 a 1,00 m de distancia del tronco, colocándose 100 a 200 g en cada hoyo. Es ventajoso un encalado cada 4 años.

La *vid*, muy exigente en calcio y boro, potasio y manganeso, debe ser plantada encima de zanjas en que previamente se colocó materia orgánica y calcáreo de malla gruesa (20 a 40), de 10 a 40 t/ha. El suelo para la vid debe ser rico en humus.

El *nogal "pecan"* crece en suelos relativamente ácidos, pero es exigente en magnesio y calcio. Se aconseja la fertilización en "cochos".

La *"pimenta-do-reino"*, que exige una proporción de K/Ca + Mg de 2/1 debe recibir el calcio en forma de harina de huesos o conchillas molidas. Cuando se usa dolomita, debe ser aplicada en dosis pequeñas al "mulch" (cobertura superficial de paja).

El *caucho* necesita de suelos muy ácidos, prefiriendo un pH entre 3,0 y 5,5, para poder absorber la suficiente cantidad de manganeso y hierro. En estado silvestre crece en terrenos bajos y húmedos de la selva, que al mismo tiempo son más ricos en cationes. Las plantaciones hechas en "tierra firme", al proporcionar un crecimiento más rápido, son más lixiviadas y más pobres en materia orgánica, por lo que necesitan fertilización. Sin embargo, sin una elección acertada de clones adaptados, ninguna fertilización surte efecto. Se deben colocar 120 g por cova de fosforita, mezclando al fertilizante 125 a 250 kg/ha de calcáreo dolomítico, como mínimo, con un 18 % de magnesio, elemento muy exigido por el caucho. La proporción K/mg en la hoja debe ser de 3/1 para evitar la precoagulación del látex, que ocurre siempre cuando el potasio es bajo en relación al magnesio. Se aconseja una aplicación anual de 250 kg/ha de calcáreo dolomítico.

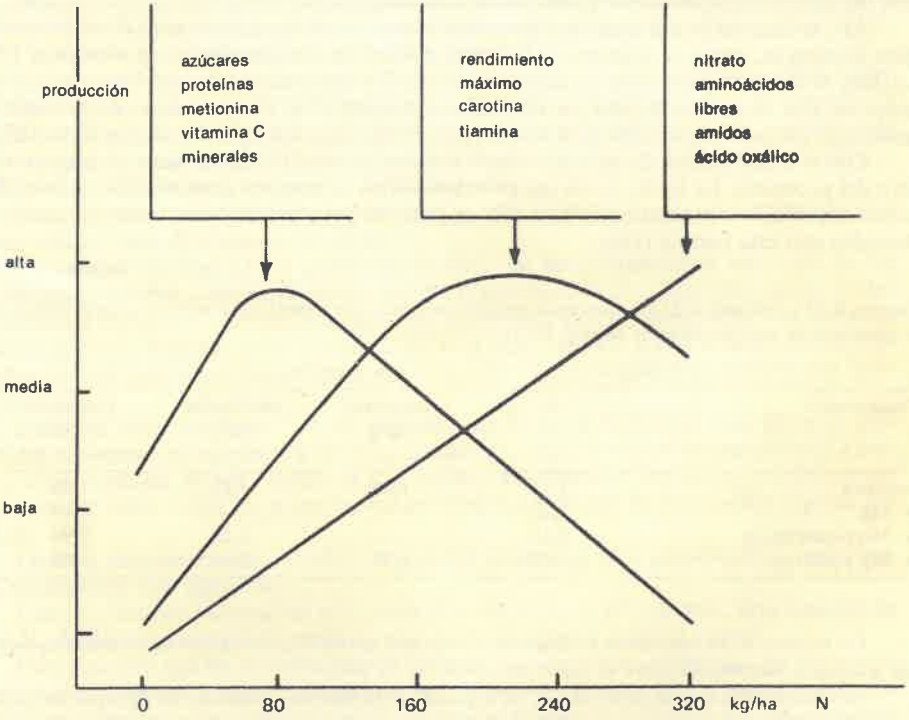


Fig. 9.49 *Presentación esquemática de la relación entre la fertilización, el rendimiento y la calidad de la espinaca (***Scharpf***, 1973).*

El *sisal*, como todas las agaves, es una planta que fácilmente sufre la toxicidad del manganeso, necesitando un nivel elevado de calcio. En suelos franco-arcillosos, que son los adecuados para este cultivo, se pueden aplicar 5 a 10 t/ha de calcáreo, según un análisis. Un encalado de conservación alrededor de 2,0 a 2,5 t/ha y por año es lo más recomendable.

Se comprueba que la adaptación de los cultivos tropicales a los suelos ácidos no dispensa el encalado, para nutrir, proveer magnesio y equilibrar el potasio. El efecto negativo de un encalado hecho sin mayores precauciones o conocimientos, generalmente se debe a la escasez de magnesio y muchas veces, también de hierro, y en algunos casos, de cinc, boro y cobre.

LA FERTILIZACION Y EL VALOR BIOLOGICO

Voisin dice: "El fertilizante es un instrumento maravilloso cuando está bien aplicado, pero es un peligro grave cuando es usado indebidamente".

El fertilizante puede aumentar o disminuir la cosecha, puede aumentar o disminuir la resistencia de las plantas a plagas y pestes (13a, 15, 23, 68, 122, 127, 136), mejorar o empeorar el valor nutritivo y la calidad biológica de los productos (29, 60, 114, 117, 120), aumentar o disminuir la resistencia de las plantas a la sequía y a la helada, según los fertilizantes usados (114), su concentración en el espacio radicular (185), su localización (7, 77), sus proporciones (123), y las posibilidades de su metabolización. Puede mejorar o empeorar la estructura grumosa del suelo, y con ello su productividad, puede acidificarlo o producir una mayor fertilidad. El abono o fertilizante tiene que ser aplicado considerando todos los factores ambientales y todos sus efectos colaterales.

Así, la cosecha puede aumentar con dosis crecientes de nitrógeno, pero el valor biológico disminuye, como se muestra en la figura 9-49. Con dosis medianas de nitrógeno (70 kg/ha), el tenor en proteínas, azúcares, vitamina C y minerales en las verduras es mayor antes de que el cultivo alcance su rendimiento mayor. Con dosis masivas de nitrógeno aumentan los aminoácidos libres, nitratos y, en la espinaca, también el ácido oxálico (187).

Con la modificación de las sustancias formadas, se modifica igualmente el valor nutritivo del producto. La fertilización del trébol modifica el tenor en aminoácidos esenciales, como triptófano y metionina, y con ello se gana en peso de animales, como el conejo, nutridos con este forraje (188).

Cuadro 9.37 a *Influencia de Mg y micronutrientes en el tenor en triptófano y metionina en el trébol, y la ganancia en peso de conejos (***Haag,** *1972)*

Tratamiento	*N* %	*Triptófano* mg/g	*Metionina* mg/g	*Ganancia en peso conejos* (g)
ninguno	3,12	1,86	4,57	7,40
+ Mg	3,20	—	—	7,44
+ Micronutrientes	3,19	—	4,20	7,99
+ Mg y micron.	3,05	2,52	5,44	8,49

Lo mismo se da con otros nutrientes, como por ejemplo, con cobre en la cebada, donde aumenta sustancialmente el tenor en vitamina A y C.

Se comprueba que el fertilizante, en especial el de micronutrientes, no siempre necesita aumentar la cosecha, pero sí la calidad biológica, por lo que el producto es más nutritivo, en términos de alimento.

Como ya fue tratado en los capítulos 1 y 8, la planta produce sus sustancias específicas cuando todos los elementos nutritivos están presentes en cantidades y proporciones ade-

Cuadro 9.37 b *La adición de cobre en el cultivo de cebada y el aumento de ácido ascórbico y caroteno (provit. A)* (**Haag**, *1972*)

Tratamiento	*Vitamina C mg/100 g*	*Vitamina A mg/100 g*
testigo	29,2	4,00
10 kg/ha de $CuSO_4$	45,1	5,40
100 kg/ha $CuSO_4$	46,5	6,60

cuadas. La escasez de algún micro o macronutriente perjudica la formación de estas sustancias. Por ejemplo, en el lino se forman proteínas en las semillas cuando el nivel de nitrógeno es alto, y óleo (aceite) cuando es bajo (82). Muchas veces la formación de estas sustancias no está terminada, sino que permanece a "medio camino". Por ejemplo, no se forman proteínas, permaneciendo los aminoácidos libres, cuando falta azufre. O se forman sustancias venenosas para el vegetal, como putrescina, cuando falta potasio. También pueden formarse sustancias perjudiciales para los animales que se alimenten de estos cultivos, como estrógenos en las leguminosas, cuando falta fósforo, etcétera

Por lo tanto, la calidad del producto depende de la nutrición vegetal y de la fertilización bien o mal aplicada (29, 60, 114, 117, 120). "Calidad" está usada en el sentido de "valor biológico", es decir, del valor nutritivo del producto, de su sabor. El tamaño y el color pueden ser "corregidos" sin que haya un valor biológico íntegro del producto.

Las plantas bien nutridas y biológicamente integrales usan el agua con mayor eficiencia, gastando menos para producir un kilogramo de materia seca. Especialmente los micronutrientes, calcio y potasio, contribuyen para el aumento de la resistencia a la sequía (111, 174), por hacer que el plasma celular sea más viscoso.

Cada exceso y desproporción equivalen a la deficiencia de algún nutriente. Ellos bajan el valor biológico del vegetal, y con eso su resistencia a plagas y pestes. En especial la desproporción K/Ca + Mg, o excesos de N, como ya se dijo anteriormente, exponen a la planta a plagas, pero también la desproporción de macro y micronutrientes como N/Cu, P/Zn, etc., influyen en la resistencia de los vegetales.

Los defensivos pueden salvar la cosecha y la apariencia del producto, pero no pueden devolverle su valor biológico o su sabor.

La calidad (biológica) del producto depende de las proporciones correctas de los nutrientes necesarios. Una fertilización con NPK por muchos años seguidos puede producir cosechas elevadas en suelos con una CTC alta y que, por lo tanto, poseen reservas de micronutrientes. Pero en suelos con una CTC muy baja, como la mayoría de los suelos brasileños, las reservas en micronutrientes son reducidas y los desequilibrios sobrevienen fácilmente.

El bajo "valor biológico" de los vegetales, es decir, la formación muy lenta de proteínas y la formación incompleta de otras sustancias, *implica mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, menor resistencia a la sequía y a las heladas, un uso poco eficiente del agua, menor valor nutritivo, y una fuerza germinativa reducida de las semillas* (figuras 8-6 y 8-7).

Quienes consuman estos productos, pueden estar muy bien alimentados, ¡pero aun así, permanecer mal nutridos!

Una fertilización racional no sólo cuida el aumento de la producción, sino también de su valor biológico, del cual depende en gran parte el vigor y la salud vegetal.

Puede ocurrir que los micronutrientes aplicados, aunque sean esenciales, no aumenten la producción, pero sí el valor biológico de ésta, y con ello, su valor nutritivo y su sabor. En todo caso, permiten un uso mejor planificado de los defensivos, evitando la contaminación perjudicial del ambiente.

La planta biológicamente integral se defiende más fácilmente contra pestes y plagas.

Una fertilización o un encalado que aumenta las plagas y destruye la productividad del

suelo, no es racional. Por lo general, a corto plazo proporciona cosechas récord, extraordinarias, y a mediano y largo plazo es la causa principal del abandono de la tierra y de su difícil recuperación.

PROBLEMAS DE MECANIZACION

El uso de máquinas cada vez mayores y más pesadas, y las pasadas cada vez más frecuentes de éstas sobre el campo a fin de abrir el terreno con la pala frontal de tractores de carriles (buldozer), volver a formar terrazas en las laderas, distribuir el calcáreo, arar, pasar la rastra, desterronar, escardar, aplicar herbicidas o defensivos, pulverizar hormonas para madurar y desfoliar, recoger y retirar la cosecha, son beneficios proporcionados por la técnica moderna para poder cultivar extensas áreas, que a su vez traen aparejado un problema cada vez mayor y más serio: el de la compactación de los suelos (48) (capítulo 7) y que se va agravando cuanto más húmedo está el suelo. Se destruyen los grumos del suelo superficial.

Aflojar un suelo compactado equivale a aflojar un monte de cascotes de vidrio. Los pedazos de vidrio no vuelven a tomar la forma de una copa o una botella, así como los grumos deshechos no vuelven a formarse en grumos.

Por lo tanto, la mecanización excesiva contribuye a la pérdida de la productividad del suelo. Cada pasada de las máquinas debe ser planeada cuidadosamente. En los Estados Unidos se acopla al arado la rastra y la sembradora fertilizadora, para hacer varios servicios en una sola pasada. Muchas veces, el fertilizante, los herbicidas y los defensivos se distribuyen desde una avioneta o helicóptero, como muestra la figura 9-50a.

Fig. 9.50a *Fertilización con helicóptero de pasturas en Amazonia.*

Se cree erróneamente que la múltiples pasadas del tractor no perjudican el campo y que la compresión del suelo por las ruedas puede ser removida por la rastra (ver figura 7-20). Se puede aflojar la tierra compactada, ¡pero ninguna rastra ni maquinaria en el mundo consigue volver a formar los grumos destruidos!

Muchos tractoristas se enorgullecen de haber pasado innumerables veces sobre el mismo campo para prepararlo. Pero, trabajando en el campo, ¿quién es el que no sabe que en los bordes del terreno, donde maniobran las máquinas, el rendimiento es hasta tres veces menor que en centro del campo? (ver figura 7-22).

En Paraná (Brasil) se dice: "la pata del caballo duplica la cosecha". Quiere decir que donde el tractor pasa frecuentemente decrece la cosecha, y que la compactación por la pata del caballo siempre es menor.

Vale esta regla: *Pasar con el tractor lo mínimo posible sobre el campo.*

Entre las técnicas conservacionistas cuenta, ante todo, la arada en contorno (139), donde cada surco actúa como miniterraza, evitando el rápido escurrimiento del agua, que además depende también del cultivo, del suelo y de la rotación, como muestra la figura 9-50b.

Esta medida, generalmente, se torna insuficiente cuando el suelo se va compactando. Entonces se recurre a la construcción de terrazas.

El raspaje de la tierra fértil de la superficie de la terraza y su amontonamiento en el borde inferior, exige una recuperación de la propia terraza, que por lo general toma uno o dos años para volver a producir normalmente. Aun la fertilización masiva no consigue superar la "fragilidad" del subsuelo, muchas veces compactado por la operación de formación de terrazas y cada vez más inestable a la acción de la lluvia por falta de materia orgánica y una microvida adecuada.

Se sabe que la poca permeabilidad del suelo no se combate exclusivamente con medidas mecánicas. Y la *erosión* no es la causa del acarreamiento del suelo, sino *el síntoma de que el suelo está impermeable.* La mecanización posibilita el cultivo de extensas áreas, pero el uso de las máquinas tiene que estar regido por consideraciones racionales y complementado por medidas biológicas para conservar la capacidad productiva del suelo. Deben ser un medio de preparación del suelo para la producción, pero *quien produce no son las má-*

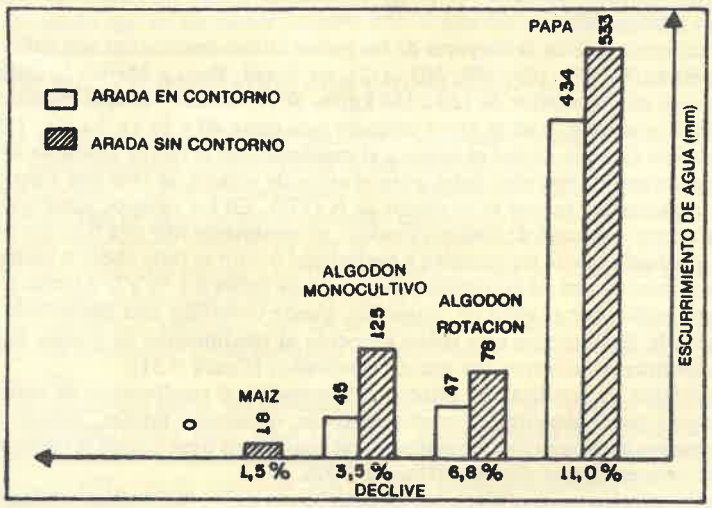


Fig. 9.50b *Efecto de la arada en contorno sobre el escurrimiento del agua (Stallings, 1948).*

quinas ni las técnicas modernas, sino el suelo y las plantas con ayuda de las máquinas y la técnica.

Por lo tanto, todas las técnicas deben estar orientadas hacia la recuperación, conservación y mejoramiento de la productividad fácilmente perdida por un exceso de mecanización mal orientada (117).

Ningún tractor hace que el suelo produzca más, solamente ayuda a producir en un área mayor con menos mano de obra. Y de su uso con criterio depende su acción benéfica o maléfica sobre el suelo (ver capítulo 7).

La profundidad de la arada, la frecuencia de las pasadas de máquinas sobre el campo, el tenor de humedad del suelo en el momento de los trabajos, la velocidad del tractor durante la arada y pasada de rastra, los implementos usados, el fin que se dé a los restos orgánicos, muchas veces quemados para facilitar la mecanización, todo tiene importancia en la conservación de la productividad del suelo (cuadro 2-9) independientemente de las técnicas usadas.

Una producción elevada a costa de la capacidad productiva del suelo no es una victoria sino una tremenda insensatez.

Cada técnica tiene su filosofía. Y la filosofía de querer enriquecerse en poco tiempo mediante la producción agrícola, destruye el suelo y pone en peligro la sobrevivencia humana (141, 156, 172). Lo que sí debe existir es la filosofía de querer conservar el suelo y su capacidad productiva, para que nuestros hijos y nietos también puedan tomar su sustento de esta tierra.

LA FERTILIZACION DE LOS SUELOS SUMERGIDOS. SUELOS DE ARROZ IRRIGADO

No es posible predecir la disponibilidad de nitrógeno para el arroz según el tenor en materia orgánica. No existe ninguna relación (157). Pero hay una relación muy nítida entre el nitrógeno y el tenor en fósforo y calcio en el suelo, lo que hace suponer que existe una fijación por algas (95, 118, 157).

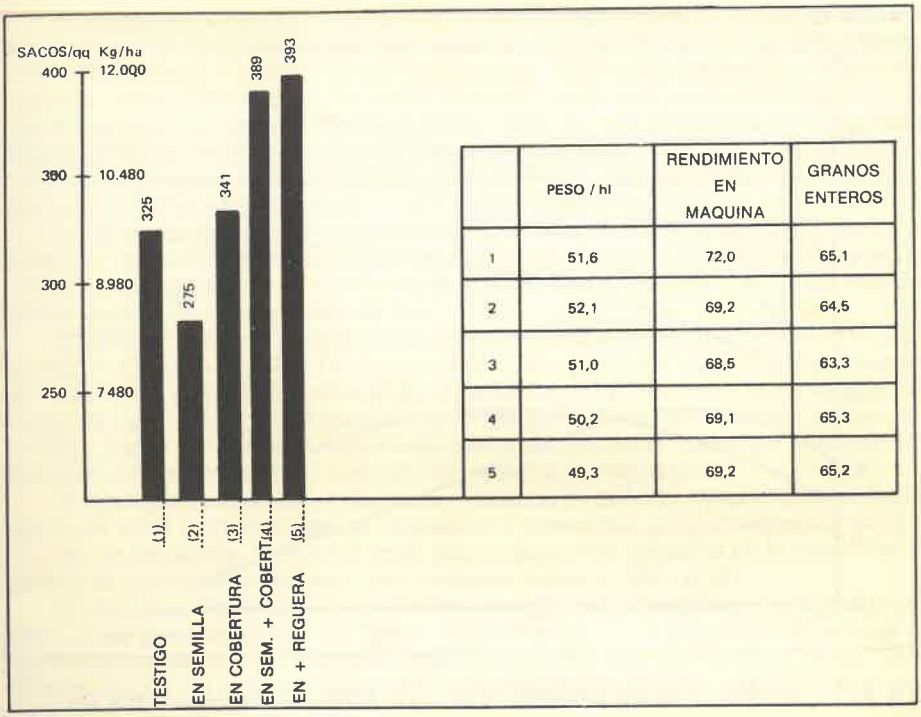
La fertilización nitrogenada debe ser aplicada en forma de amonio y localizada, por lo menos, a 6 cm de profundidad (17, 74, 109), para evitar que quede situada en la capa de oxidación formando ácido nítrico (NHO_3). El arroz irrigado responde normalmente a una fertilización nitrogenada.

Pero, mientras que en la mayoría de los países latino-americanos son suficientes y óptimos 30 a 60 kg/ha (71, 105, 106, 107, 112), en Brasil, Perú y Méjico lo óptimo para el arroz de secano está alrededor de 120 a 160 kg/ha de N, debido a la baja eficiencia del fertilizante en esos arrozales, y en el arroz irrigado está entre 40 y 60 kg/ha (64, 152, 158). En los suelos de Rio Grande do Sul el calcio y el magnesio son el factor limitante en la producción de arroz irrigado. Por otro lado, para el arroz de secano, se cree que a peor bioestructura de la capa arable, menor es el efecto de N (152). En los campos sumergidos, cuando existe la suficiente cantidad de fósforo y calcio, generalmente hay una fijación de nitrógeno por algas, que hasta puede ser excesiva y perjudicial mientras falte cobre o manganeso en el suelo. Una pulverización de la semilla con sulfato de cobre a 1 % y la adición de 2,5 kg/ha de sulfato de cobre por el agua de irrigación, puede controlar esta deficiencia (94).

Mediante la fertilización con cobre aumenta el rendimiento de granos enteros en la máquina, mientras disminuyen los granos quebrados (figura 9-51).

Normalmente, la fertilización nitrogenada aumenta el rendimiento de variedades precoces, mientras puede deprimir el rendimiento de variedades tardías, debido a un crecimiento vegetativo excesivo (74). La respuesta al fertilizante depende de la variedad, respondiendo cada una en forma diferente (figura 9-52).

Por la inundación se modifican las características de los nutrientes disponibles. El aluminio tóxico tiende a desaparecer, mientras que el fósforo aumenta (164). Sin embargo, es-



	PESO / hl	RENDIMIENTO EN MAQUINA	GRANOS ENTEROS
1	51,6	72,0	65,1
2	52,1	69,2	64,5
3	51,0	68,5	63,3
4	50,2	69,1	65,3
5	49,3	69,2	65,2

Fig. 9.51 *Diversos modos de aplicación de sulfato de cobre en arroz irrigado que recibió un encalado (900 kg/ha), NPK = 8-60-40 kg/ha, y materia orgánica* (**Primavesi**, *1971*).

te aumento se da solamente cuando el suelo es arcilloso o cuando existe fósforo ligado al aluminio. De modo que es un factor incierto con el que no se puede contar (119).

MANEJO DE SUELOS IRRIGADOS POR INUNDACION (ARROZ)

Muchos suelos de arroz irrigado perdieron su productividad debido a un manejo equivocado, exclusivamente dirigido hacia la fertilización con NPK.

El suelo sumergido sufre una profunda modificación por causa del anaerobismo, que provoca la pérdida de oxígeno de los compuestos químicos y que se llama *reducción*. Todos saben eso, pero muy pocos consideran que la reducción no es general, sino limitada.

Condiciones reducidas existen a partir de 300 mV a 0 mV en un pH de 5,00. Las condiciones de oxidación comienzan a partir de 340 mV (109).

La capa reducida es percolada por los ácidos formados en la capa en contacto con el agua, y éstos son en especial ácido sulfúrico y ácido nítrico. Por eso esta capa es lixiviada y empobrecida (36).

Según la textura del suelo, las condiciones de drenaje y las técnicas agrícolas, la capa anaerobia, reducida, puede tener 20 a 75 cm de profundidad (34), siendo mayor en los suelos arenosos y menor en los arcillosos. En esta capa se reducen los compuestos nitrogenados de $NO_3 \rightarrow NH_4$, los de azufre de $SO_3 \rightarrow SH_2$, los de manganeso de $Mn_3O_4 \rightarrow MnO_2$ y los de hierro de $Fe_2O_3 \rightarrow \rightarrow FeO_2$. El hierro y el manganeso en estado reducido son muy móviles, siendo lixiviados de la capa de reducción, acumulándose en forma de concreciones

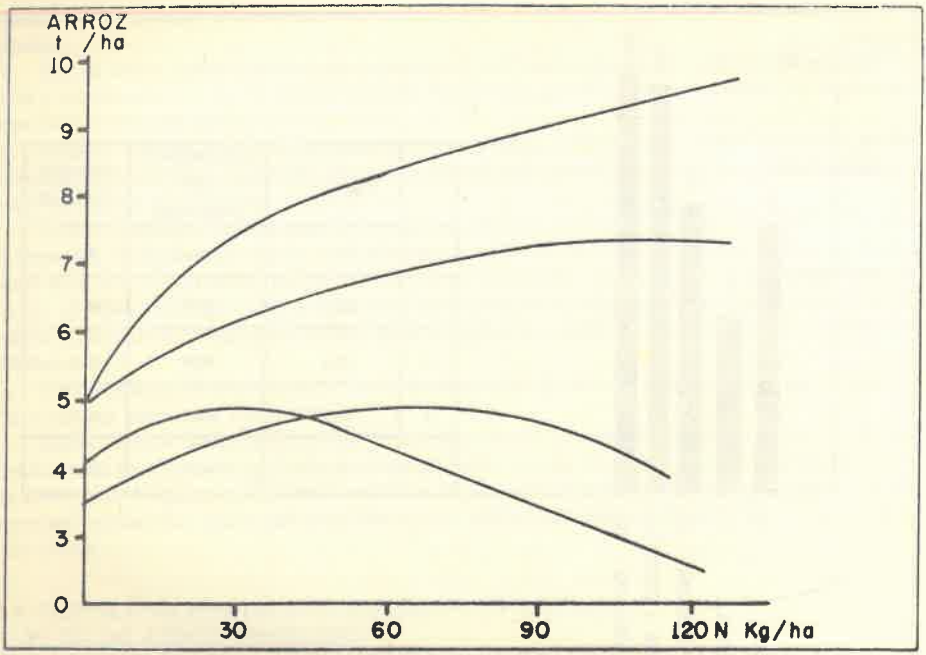


Fig. 9.52 *Respuesta de cuatro variedades de arroz a la fertilización nitrogenada (I.R.R.I.).*

mangano-férricas en el fondo de esta capa, formando una laja dura e impermeable. Este proceso puede llevar de unos pocos años hasta 100 años, según las condiciones (70). En suelos alcalinos y en suelos pobres en manganeso y hierro, estas concreciones no se dan.

Puede ocurrir que encima de esta capa lixiviada se deposite limo traído por la erosión de terrenos más altos o por inundación de ríos próximos.

Cuadro 9.38 *Perfil de un suelo sumergido (Green, 1960) con la oxidación y reducción respectivas (Gee, 1950)*

Color		*Perfil de agua y suelo*	*Oxidación o reducción en mili-Volt*	*Profundidad en cm*
		agua de irrigación con algas		
rojo	SUELO	capa oxidada por el agua	400 - 600	0 - 1
gris-azulada	SUELO	capa "reducida" con denitrificación y lixiviación	50 - 100 0 - 50 0 - 200	1 - 3 10 17
gris	SUELO	suelo de arado o de sedimentación	400 - 500	20
marrón	SUELO	subsuelo oxidado	600	30

El espesor de la capa reducida influye de manera desfavorable en la cosecha del arroz. *Ningún suelo de arroz irrigado consigue mantener su productividad sin que sea periódica y totalmente drenado y aireado, la capa de reducción y lixiviación destruída, y su estructura grumosa restablecida.* Por eso, los suelos de arroz irrigado por inundación deben ser cultivados, por lo menos por un año, con un cultivo seco, después de dos años de cultivo húmedo con arroz. En el período de cultivo seco debe recuperarse la bioestructura del suelo, incorporándose superficialmente materia orgánica. Y si el suelo en estado drenado es ácido, debe recibir un encalado hasta que su pH alcance el nivel de 5,6.

Existe un recelo muy grande de incorporar la paja de arroz en los suelos, por las semillas de "capim-arroz" *(Echinochloa crusgallii)* que, en parte, constituye el límite del cultivo de las tierras de arroz. Pero él se beneficia de la capa reducida y lixiviada, desapareciendo después de la destrucción de ésta.

El calcio se liga con los compuestos ácidos, neutralizándolos; por ejemplo: $CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2CO_3$. De un ácido fuerte, que es el ácido sulfúrico, se produce una sal neutra y un ácido débil, que es el ácido carbónico. El pH del suelo sube. Cuando este suelo está sumergido por la irrigación, los compuestos cálcicos se mantienen por ser poco solubles. Por lo tanto, existen menos compuestos que puedan ser reducidos. El efecto de la reducción será menor y el pH aumenta menos por la inundación.

Se alegó por mucho tiempo que la tierra de arroz irrigado no necesitaba encalado porque el pH subía hasta tres semanas después de la sumersión, como consecuencia de la reducción de los óxidos. Este es un error trágico dentro del concepto de la corrección del suelo y de la saturación en bases, que solamente tiende a elevar el pH.

Se olvidó que los compuestos reducidos, en parte, son altamente perjudiciales para el arroz, como el gas sulfhídrico (H_2S) que, saliendo del suelo, causa lesiones en las hojas del arroz, predisponiendo a las plantas a ataques por hongos, como el "brusone" (122). Se verificó que el pH del suelo inundado sube tanto más cuanto menor y más ácido es en suelo seco.

Cuadro 9.39 *Comparación de pH en suelo seco y sumergido (***Primavesi,** *1972)*

pH en suelo seco	*pH en suelo sumergido*
4,8	7,1
5,0	6,8
5,5	6,0
5,6	5,8

El arroz atacado por "brusone" se encuentra preferencialmente en los suelos inundados con pH 6,7 a 7,3, es decir, donde existen muchas sustancias reducibles como $SO_3 \rightarrow SH_2$. El arroz sano crece en los suelos con pH 5,8 a 6,0, cuando en estado sumergido, sufre mucho menos el efecto de la reducción y lixiviación.

Cuanto menor es la modificación del pH, tanto menos sustancias fueron reducidas, por encontrarse en forma de compuestos irreductibles o poco solubles. Por lo tanto, el arroz estará mejor nutrido si existen menos sustancias tóxicas en el suelo.

Los suelos arenosos son desfavorables para el arroz, no por retener menos agua, sino por tener una capa de reducción mucho mayor, hasta 75 cm, que en suelos arcillosos es alrededor de 20 cm. A pesar de que los suelos arenosos poseen menos sustancias reducibles la raíz no consigue penetrar hasta la capa oxidada como en los suelos arcillosos. La práctica de dejar secar el suelo hasta que el arroz nuevo se marchite levemente, tiene el propósito de forzar a la raíz a que se profundice, siguiendo la humedad que está cada vez más profunda,

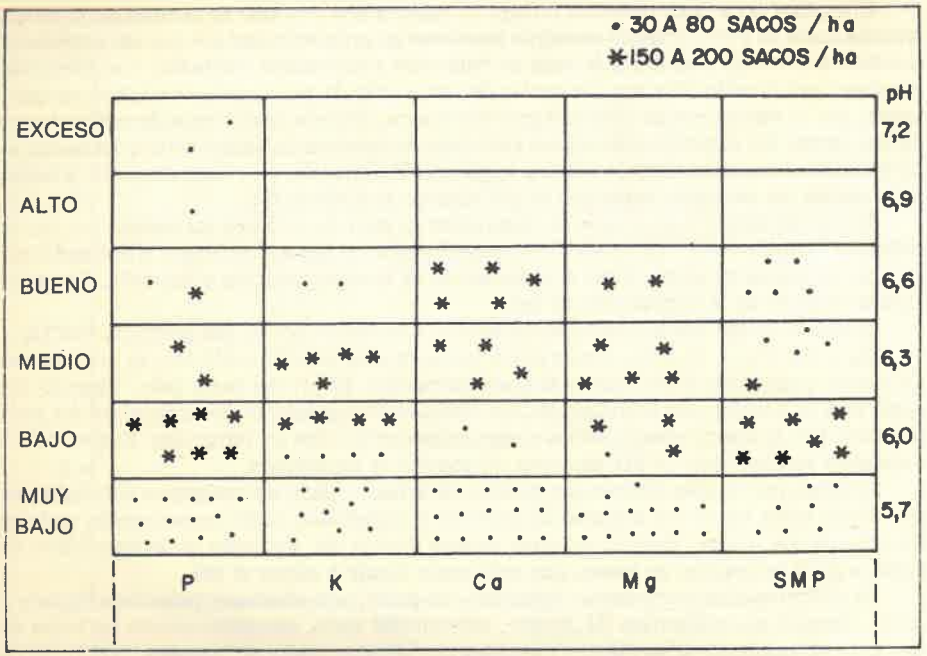


Fig. 9.53 *Necesidad de nutrientes, pH y SMP del arroz irrigado. (Datos recogidos por* **Primavesi** *en el laboratorio de análisis del suelo de la UFSM).*

hasta alcanzar la capa oxidada. Esta técnica es muy buena en suelos con su bioestructura correcta y una textura arcillosa, pero es inútil en suelos con una laja concrecionada y textura arenosa. En estas condiciones ninguna raíz consigue alcanzar la capa oxidada del suelo.

Es verdad que el arroz irrigado crece "hasta en el asfalto", pero mucho más en suelos con capa reducida destruida, sin concreciones en poca profundidad y con una bioestructura intacta. Es sumamente ventajoso incorporar superficialmente material celulósico, como paja de arroz, junto con un fosfato cálcico, como hiperfosfato o escoria de Thomas. El "capim-arroz" no se desarrolla bien en suelos sin capa de reducción lixiviada y el "brusone" no es transmitido por el agua ni por la semilla, ni por la paja, mientras las condiciones son favorables a la nutrición de la planta y no existen sustancias que lesionen las hojas (122).

Cuadro 9.40 *Comparación de suelos con arroz sano y enfermo (***Primavesi,** *1971)*

Suelo	*Arroz sano*	*Arroz con "brusone"*
	calcio en mg/1.000 g (ppm)	
arcilloso (> 35% de arcilla)	1.420 - 3.000	541 - 950
arenoso (< 35% de arcilla)	350 - 940	40 - 470
	magnesio en mg/1.000 g (ppm)	
arcilloso (> 35% de arcilla)	270 - 380	vestigios - 80
arenoso (< 35 % de arcilla)	150 - 210	vestigios - 60

Por eso, en el sur de Asia se clasifican los suelos de arroz irrigado por el drenaje, permeabilidad, textura, estructura, composición química, tenor en materia orgánica, pH y horizonte reducido.

Esto muestra que en suelos sumergidos, el encalado con calcáreo dolomítico es tan importante como en suelos secos. Sin embargo, si este encalado es aplicado de una sola vez, provoca un desequilibrio en los micronutrientes, indispensables en la formación del grano. La cosecha fracasa si estas proporciones en la paja se modifican.

Cuadro 9-41. *Proporciones de nutrientes en la hoja de arroz irrigado (***Primavesi,** *1971).*

Con encalado, rendimiento alto de arroz. pH del suelo entre 5,8 - 6,1		*Sin encalado, rendimiento bajo de arroz. Ph del suelo entre 6,8 - 7,1*
8 a 10	K/Ca + Mg	3,4 a 5,0
6	P/S	2,2 a 3,0
35	N/Cu	54 a 58
35	P/Mn	115 a 120

Obs.: En este caso, el pH elevado indica un tenor elevado de sustancias reducidas.

Verificamos que en el arroz inadecuadamente nutrido, especialmente el azufre aumentó mucho en la hoja mientras que el cobre y el manganeso bajaron.

A pesar de que el arroz necesita calcio y magnesio en niveles medianos a buenos, el mejor pH para esta altura se sitúa entre 6,0 y 6,3 y el pH/SMP sólo a 6,0 (figura 9-53).

La materia orgánica siempre debe ser aplicada en el cultivo a seco, ya que su descomposición anaerobia no beneficia la estructura del suelo (134). Esta materia orgánica no sirve como fuente de nitrógeno, sino solamente como base de una estructura grumosa.

Las experiencias muestran que el arroz irrigado rinde más cuando la superficie del suelo que entre en contacto con el agua esté compactada, para reducir al mínimo los procesos de oxidación que tienen lugar en esta capa (87). Así se evita que se produzca ácido sulfúrico y ácido nítrico que lixiviarían el horizonte de reducción. Una pasada de un rodillo compactador después de la siembra beneficia la cosecha, tanto en paja como en grano. Sin embargo, un suelo compactado debido a una bioestructura decaída en nada beneficia el rendimiento, al contrario, lo baja radicalmente (169), porque no sólo produce sustancias tóxicas en la reducción, sino que también se opone a la penetración de la raíz.

Por lo tanto, cuando un campo de arroz irrigado presenta terrones grandes al ser arado, deberá tratarse su recuperación urgentemente. La liberación de P en suelos inundados es mayor si existen arcillas montmorilloníticas y es menor en suelos con arcillas caoliníticas (82). Por otra parte, el hierro permanece más móvil en suelos inundados y puede tornarse tóxico, especialmente cuando existe escasez de manganeso. El encalado y la fertilización fosfatada impiden la toxicidad del hierro. Pero debe advertirse: cantidades pequeñas de fósforo aumentan la toxicidad del hierro. Solamente grandes cantidades (200 kg/ha de superfosfato como mínimo) la disminuyen (164). En muchos suelos de arroz irrigado, la aplicación de hiperfosfato o harina-de-huesos es más ventajosa que la de superfosfato, en especial cuando no fue hecho un encalado previo.

Se comprueba en la figura 9-54 que los nutrientes no reaccionan de idéntica forma a la inundación en suelos usados siempre para arroz-irrigado o usados por primera vez para un cultivo irrigado. El aluminio intercambiable baja por la inundación en todos los suelos, así como el Ca y S en los suelos secos irrigados. El fósforo sube, aunque la cantidad de P a ser

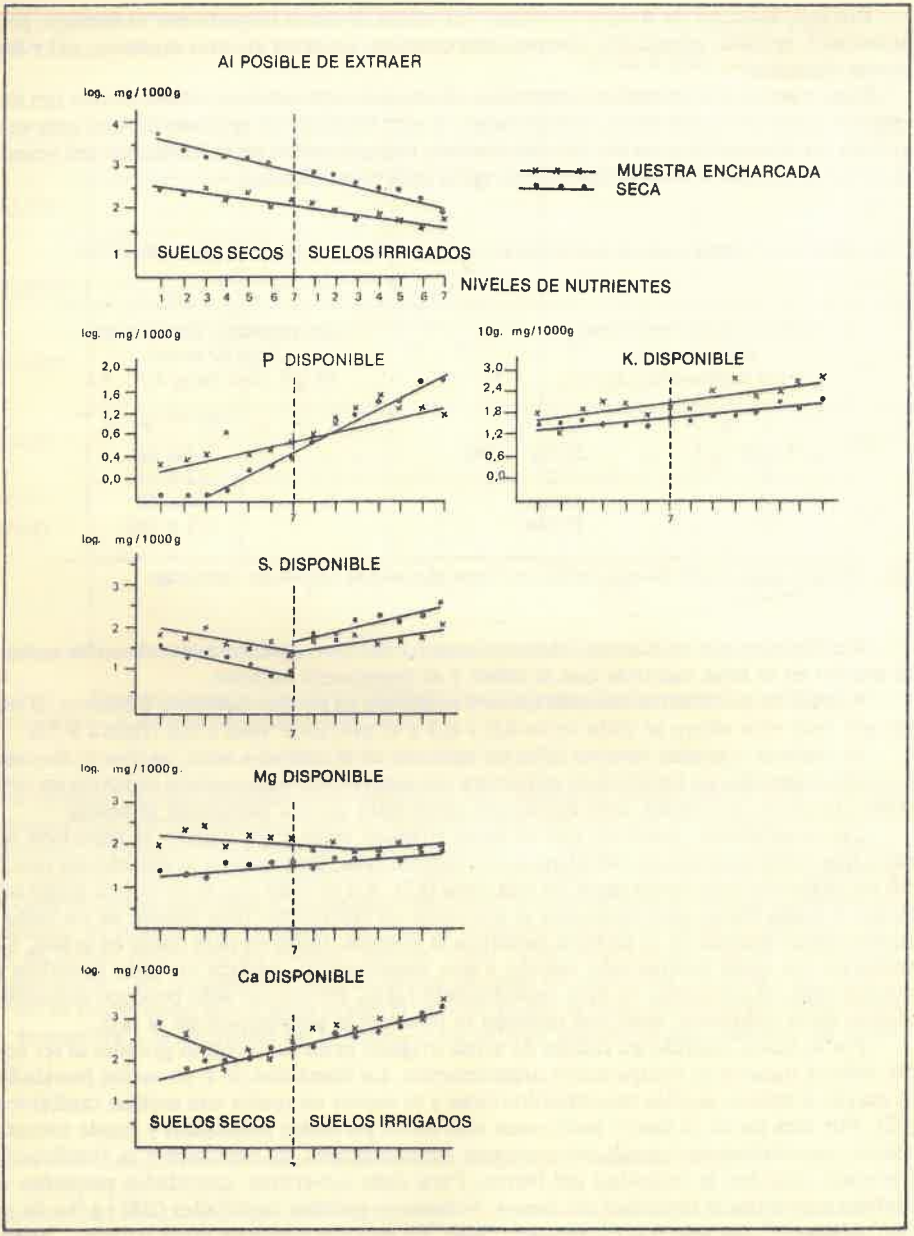


Fig. 9.54 ***La modificación de algunos nutrientes y del aluminio intercambiable por la irrigación por inundación, usándose suelos ya anteriormente irrigados y suelos que habían sido usados anteriormente para cultivos a seco*** **(Primavesi, *1971*). (119)**

Obs.: Organizados según siete niveles de nutrientes en suelos de arroz y en suelos anteriormente no inundados, hechos los análisis en suelo seco al aire y en estado de saturación de agua durante tres semanas.

movilizada es imprevisible (ver lo anterior), de modo que las alteraciones que ocurren debido a la inundación dependen de la arcilla presente y del uso anterior del suelo.

El arroz necesita mucho K, pero raramente responde a una fertilización potásica. El fósforo casi siempre da un resultado satisfactorio.

Resumen

Los suelos de arroz irrigado deben ser totalmente drenados después de la cosecha, y cada dos años deben ser usados para un cultivo a seco, para destruir el horizonte de reducción. El retorno de materia orgánica es importante para la conservación de su bioestructura, e indispensable para que dé altos rendimientos. Si el pH del suelo drenado es menor que 5,6, debe recibir un encalado. En los suelos sumergidos puede faltar cobre y manganeso.

La fertilización nitrogenada es ventajosa en variedades de ciclo corto y mediano, pero peligrosa en variedades de ciclo largo. Ella debe ser colocada a 6 cm de profundidad.

La compactación de la superficie del campo es ventajosa, siempre que su estructura sea buena.

La materia orgánica en el suelo es importante, pero no se relaciona con el tenor en nitrógeno. Para la fijación de nitrógeno se necesita de un nivel adecuado de fósforo y calcio, siendo fijados por algas, levaduras y el *Azotobacter* acuático [10].

MANEJO DE SUELOS IRRIGADOS EN REGIONES ARIDAS

Distinguimos entre dos tipos de irrigación:

1. de *suplementación*, en regiones lluviosas donde las lluvias faltan en determinada época del año (figura 9-55);
2. de *abastecimiento*, donde se provee agua durante el año entero, por falta de ésta, predominando la evaporación sobre la infiltración.

Muchas veces se usa la irrigación en huertas y tal vez en cultivos, para suplementar un déficit temporario de agua. Este puede ocurrir por causa de una estación seca en que se pretende plantar, o debido a lluvias erráticas en que no se puede confiar. El único problema que existe en este tipo de irrigación suplementaria es el de la instalación del sistema de irrigación, que generalmente es caro. En las huertas, con frecuencia se opta por el sistema de riego por aspersión; en labranzas, por infiltración.

En todos los suelos irrigados existe el problema de la conservación de la estructura del suelo, donde son comunes las formaciones de costras superficiales.

Si la irrigación es hecha en zonas secas con escasez de lluvia y características semiáridas o subhúmedas, los problemas de la irrigación cambian mucho. Muchas veces, las regiones áridas no son zonas de bajas precipitaciones. Así, por ejemplo, en Africa del Sur, existe un desierto con 2.800 mm de lluvia al año (150); pero la cuestión es que todas las lluvias caen en tres meses. De estos suelos, completamente decaídos por un uso irracional, se escurre casi toda el agua pluvial, causando una erosión pavorosa que es acompañada de crecientes arrasadoras. ¡E inmediatamente después viene la sequía!

En el noreste brasileño, las precipitaciones anuales serían razonables si estuviesen bien distribuidas, siendo, en la zona del "Sertao", alrededor de 900 mm al año. Pero hay zonas donde las lluvias anuales son absolutamente insuficientes, como en Cabaceiras en Paranaíba, o Macau, en Rio Grande do Norte, donde son menores de 500 mm anuales.

La salinización por la irrigación

Todos los problemas del agua del suelo dependen de la relación entre *infiltración y evaporación*. Si la infiltración es mayor, los suelos son lixiviados y, fácilmente, se acidifi-

[10] *Azotobacter Agilis* sobre todo (*J.S.M*).

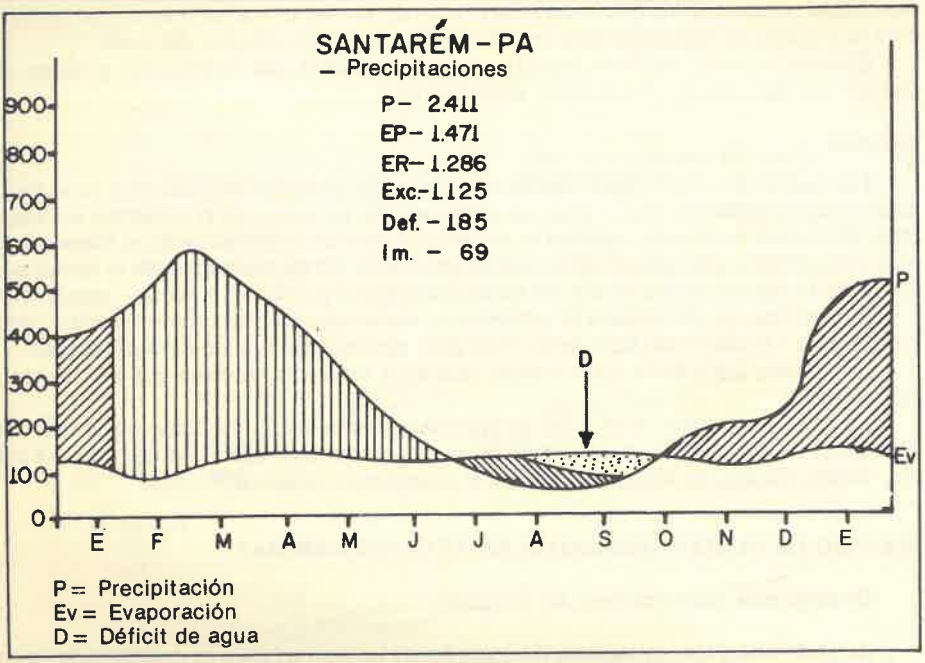


Fig. 9.55 *Déficit temporario de agua que se suplementa por la irrigación (***Bastos,** *1972; ver capítulo 10).*

can. Si en cambio predomina la evaporación, ocurre lo contrario: se acumulan sales en la capa superior y, con facilidad, se salinizan. Esta salinización es menor en suelos arenosos y mucho mayor en suelos arcillosos, que permiten un ascenso de agua mucho más intenso (72, 73).

Para salinizar un suelo no se precisa de agua salina en el subsuelo, ni demasiado calor. También el agua dulce contiene sales. Como en zonas semiáridas, el agua del subsuelo sólo sube y se evapora o es absorbida por las plantas. Falta el movimiento descendente. El agua deposita sus sales excedentes en la capa superficial del terreno y, con el tiempo, éstas se acumulan. Los suelos de las zonas áridas se tornan salinos y esto ocurre tanto más rápidamente cuanto más alto es el nivel freático.

La salinización es más intensa cuanto más impermeable es la superficie del suelo, porque la infiltración del agua de las lluvias, aun cuando fuesen pocas, provocaría su lixiviación si pudiese penetrarlo. Pero, generalmente, en estas regiones la vegetación es muy raquítica y rala, y las lluvias, cuando caen, son muy intensas golpeando el suelo con mucha fuerza, por lo que destruyen los agregados en la superficie. Se forman, entonces, costras que impiden la infiltración del agua. Por eso ocurren muchas crecientes en estas zonas, y los ríos sólo tienen agua cuando llueve. Se escurre prácticamente todo, y después de algunos días de sol se produce la sequía. El suelo no se moja en profundidad (figura 9-56).

Existen zonas templadas que, con 300 mm por año de lluvia, tienen una agricultura próspera, como ocurre en la Baja Austria y Hungría. Pero se hace todo lo necesario para que las precipitaciones escasas puedan infiltrarse en el terreno y no se escurran ni se evaporen sin uso.

La salinización es más rápida cuanto más adensado y compacto se vuelve el suelo. En la Argentina, extensas áreas que antes habían estado plantadas con trigo, son actualmente suelos salinos.

Fig. 9.56 *Lecho seco de un río en época de sequía, que ha llevado crecientes pavorosas en la época de lluvias. El agua se escurre y no se filtra.*

La primera reacción del hombre es irrigar cuando se torna imposible cultivar por la escasez de agua, de precipitaciones o por el escurrimiento casi total del agua pluvial. Pero hay que recordar que las regiones irrigadas son las flageladas por las mayores crecientes. Hay agua a poca profundidad de la superficie, pero una capa impermeable impide la infiltración más profunda y, por lo tanto, se secan las fuentes y vertientes (175).

Cuadro 9.42 *Areas irrigadas en el mundo, en millones de hectáreas (***FAO,** *1972)*

País	*1965*	*1975*	*2000*
Asia	110		
EE.UU.	17		
U.R.S.S.	13		
Europa	12		
Africa	10		
América Latina	4		
total	166	200	300

De estas áreas irrigadas en 1965, la mayor parte se sitúa en las zonas subtropicales (hasta el paralelo 45), 10 millones en clima templado, y sólo 24 millones de hectáreas en tierras tropicales (41). La India es el país que más irriga.

Solamente la mitad del área irrigada tiene drenaje. Por eso, entre 1929 y 1939, medio millón de hectáreas de tierras irrigadas fueron abandonadas en Medio Oriente, porque se habían salinizado irrecuperablemente. En gran parte de las tierras irrigadas la producción bajó al 25 % de lo que era la producción inicial. En la India y Paquistán muchas tierras irrigadas se tornaron desiertos y en Egipto, pantanos, debido al drenaje deficiente que hizo que el agua del subsuelo subiera a la superficie. Los desiertos se forman cuando se usa muy

poca agua para la irrigación y no se permite un "lavaje" de las sales acumuladas en el suelo superficial, ni se da lugar a un drenaje del agua excedente.

De las sales depositadas por el agua, las plantas retiran lo que necesitan. Lo restante se acumula, salinizando el suelo. En todo el mundo hay 20 millones de hectáreas irrigadas que se tornaron salinas, aumentando esta cifra anualmente en 200.000 a 300.000 hectáreas (78). En América Latina existen 4 millones de hectáreas salinizadas o en proceso de salinización. Muchas de estas tierras eran fértiles plantaciones que con el tiempo tuvieron que ser abandonadas.

Razones de salinización

Las tierras irrigadas se salinizan por las siguientes razones:

1. irrigación mal hecha, queriendo explorar de manera irracional los recursos hídricos, irrigando áreas mayores de lo que sería posible, con recursos insuficientes de agua (110);
2. destrucción de la vegetación nativa;
3. ausencia de drenaje adecuado. La instalación de un sistema de irrigación y drenaje en Brasil cuesta 3.000,00 dólares/ha, mientras que en la mayoría de los países extranjeros el costo de la instalación es de 500,00 dólares/ha. Sin un drenaje adecuado, la irrigación siempre es peligrosa porque acarrea infaliblemente la salinización de las glebas;
4. conservación deficiente del sistema de drenaje, que puede elevar el nivel de agua en 0,5 a 1,5 m por año (73). Muchas veces no se trata del nivel freático, sino del agua estancada encima de una laja impermeable, formada por las arcillas lixiviadas de la superficie del suelo;
5. capa superficial del suelo encostrada o compactada, que no permite la suficiente infiltración de agua;
6. estructura del suelo compactada después de la pérdida de la materia orgánica.
7. un manejo inadecuado del suelo y del agua.

Cuando una tierra está compactada o encostrada en la superficie la infiltración del agua es deficiente. La transpiración de las plantas aumenta debido a la deficiencia de oxígeno en el suelo, a pesar de que el agua disponible es menor (11). La evaporación del propio suelo, cuando está compactado, es mayor y esto se debe a un mayor calentamiento del sol (162). No solamente las arcillas, también las arenas pueden compactarse cuando pierden su materia orgánica o cuando son expuestas directamente al sol y la lluvia.

El proceso siempre es el mismo: la pérdida de materia orgánica, la destrucción de los grumos superficiales, la obstrucción de los poros del suelo subyacente por las partículas de arcilla de los grumos superficiales destruidos, la formación de una capa impermeable, que "crece" de abajo hacia arriba, el escurrimiento del agua, la erosión, las crecientes y la sequía.

La irrigación por inundación es más destructiva para la bioestructura, mientras que la de aspersión es menos peligrosa (44). En suelos con compactaciones, las plantas se marchitan más rápidamente (47) y la sugestión evidente es la irrigación.

En suelos con capas superficiales compactadas el agua se infiltra en razón de 0,06 cm/hora, mientras que en suelos con su bioestructura intacta la infiltración es de 23 cm/hora (11).

Un suelo "encostrado" ni siquiera consigue retener una garúa un poco fuerte (11). También el agua de irrigación penetra poco (26) y únicamente queda un humedecimiento superficial. El poder de conservar agua es mínimo en el suelo compactado, y el agua adicionada por la irrigación se evapora muy rápidamente (101). Inmediatamente después de la irrigación el suelo ya comienza a rajarse. En un suelo rajado el agua penetra fácilmente por las grietas que, sin embargo, se cierran en cuanto se humedecen (figura 9-57).

Fig. 9.57 *Trigo irrigado en Chile. El suelo se raja antes de secarse totalmente. Se puede ver todavía una capa húmeda debajo.*

El adicionamiento permanente de agua a la superficie del suelo, que en gran parte se evapora, va agregando cada vez pequeñas cantidades de sales. Cada metro cúbico agrega sales que no se lixivian y que las plantas retiran para su consumo sólo en pequeña cantidad. En el agua pluvial, generalmente existen pocas sales disueltas, a no ser cerca del océano o de centros industriales. El agua de irrigación, aun clasificada como "dulce", posee sales. El agua dulce posee menos que 0,6 milimhos de concentración, lo que equivale, como máximo, a 380 mg de sales disueltas por litro de agua, o 380 g por metro cúbico. Es poco, pero el efecto acumulativo se hace sentir.

Cuando la concentración es mayor, el agua es salina, y 2,0 a 2,5 mmhos son considerados como el límite tolerable para la mayoría de los cultivos. Existen algunos cultivos con una mayor tolerancia, como el maíz, el sorgo, etc.

Cuadro 9.43 *Tolerancia de algunos cultivos a la salinización* (**Bernstein**, *1966)*

Cultivo	*Reducción de la cosecha en %*			
	10	*25*	*50*	
algodón	10 mmhos	12 mmhos	16 mmhos	concentración salina
bermuda-grass *(Cynodon dactylon)*	13 mmhos	16 mmhos	18 mmhos	
sorgo	6 mmhos	9 mmhos	12 mmhos	
soja	6 mmhos	7 mmhos	9 mmhos	
arroz irrigado	5 mmhos	6 mmhos	8 mmhos*	
maíz	5 mmhos	6 mmhos	7 mmhos	
batata	2,5mmhos	4 mmhos	6 mmhos	

* Obs.: El arroz en germinación, nacimiento y floración soporta, como máximo, 4 mmhos.

Los cultivos citados en el cuadro 9-43 son considerados altamente tolerantes a la salinización, mientras que casi todos los árboles frutales, con excepción de la mangueira y morera, son altamente sensibles, tanto como el poroto, caña de azúcar y otros.

La salinidad correspondiente es:

10 - 16 mmhos equivale a 0,5 - 1,0% de sal en suelo seco
4 - 6 mmhos equivale a 0,2 - 0,5% de sal en suelo seco
2 - 4 mmhos equivale a 0,05 - 0,2% de sal en suelo seco

La salinización de los suelos irrigados en zonas áridas es el problema más grave. Por lo tanto, ¡todo lo que impide el libre flujo del agua por el suelo contribuye para la salinización!

Los factores que impiden la infiltración y promueven la salinización son:

1. costras o compactaciones superficiales (5, 34),
2. una bioestructura decaída. En suelos arcillosos el efecto es mayor que en suelos arenosos, donde la capa impermeable se forma en mayor profundidad,
3. cantidades deficientes de agua de irrigación,
4. un nivel freático muy alto y un drenaje deficiente.

Hay quienes piensan que el calor sería otro factor importante para la evaporación del agua. Pero sabemos que hay tierras salinizadas en el círculo polar ártico (166), lo que no ocurre por la excesiva evaporación sino por una infiltración muy reducida.

Las medidas que tienden a disminuir la salinización, normalmente no deben considerar la disminución del agua de irrigación para disminuir la cantidad de sales, sino más bien el aumento del agua de irrigación, para lixiviar las sales acumuladas. Cuanta menos agua se vierte, menor es la cantidad que percola el suelo, y tanto más remota la posibilidad de lixiviar las sales hacia fuera de la zona radicular. En suelos muy grumosos, con un nivel freático muy bajo, la disminución del agua puede contribuir para la disminución de la velocidad de salinización, porque evitaría una rápida elevación del nivel freático.

Por lo tanto, *en suelos grumosos, con nivel freático bajo, la disminución del agua de irrigación puede atrasar la salinización. Y por el contrario, en suelos compactados, con superficie impermeable, sólo puede acelerar la salinización.*

Vemos que una misma medida puede provocar reacciones completamente contrarias, según la bioestructura del suelo.

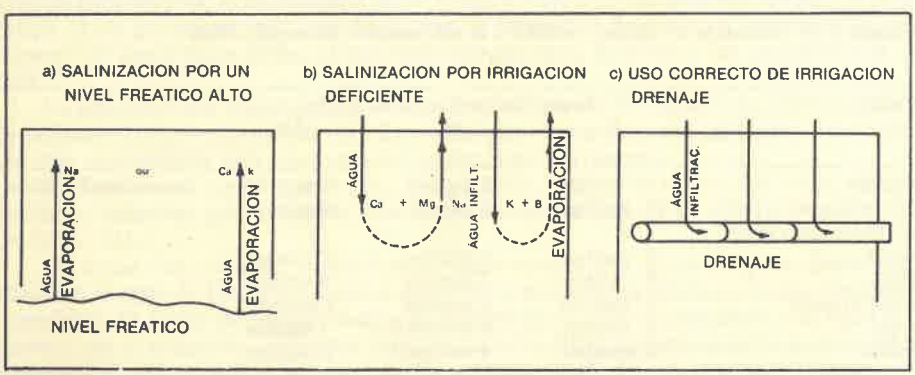


Fig. 9.58 *Razón de la salinización en suelos decaídos de zonas áridas y uso incorrecto y correcto de irrigación (***FAO-UNESCO,** *1967).*

En la figura 9-58 en a) el agua asciende a la superficie de un nivel freático muy alto. Como no existe infiltración suficiente debido a una costra superficial y una bioestructura decaída, y no existe drenaje, las sales que ascienden con el agua son depositadas en la capa cultivable del suelo.

En b), un suelo decaído, la irrigación se hace con una cantidad insuficiente de agua. Se mojan sólo unos 15 a 20 cm de suelo en la superficie. Falta el drenaje. Las sales se acumulan en la capa superficial. Lo correcto sería hacer correr las sales con una irrigación más fuerte y un drenaje adecuado del agua salina (figura 9-59).

En c) la irrigación se hace con una cantidad suficiente de agua que percola el suelo y que, generalmente a 40 cm de profundidad, es captada por caños de drenaje. Puede ser hecho también un drenaje abierto, donde hay canales que traen el agua fresca y otros que llevan el agua salina que ya percoló el suelo.

El máximo de sales que se puede admitir en un suelo es de 0,2 a 0,3 % de Ca, Mg, K, Na, que equivale a 4 a 6 mmhos. Sin embargo, la cantidad de cloro no puede superar el 0,01 % de la cantidad de sales, por ser este ion especialmente tóxico para las plantas, teniendo un efecto nocivo mucho más allá de su presión osmótica.

Cuadro 9.44 *Depresión del rendimiento de trigo en presencia de diferentes sales en el suelo (***Hatward,** *1949)*

Presión osmótica atm.	*Sal*	*Depresión en % de las hojas*
0,4	NaCl	92,7
0,4	$CaCl_2$	74,0
0,4	$MgCl_2$	55,0
0,4	Na_2SO_4	27,0
0,4	$MgSO_4$	17,0

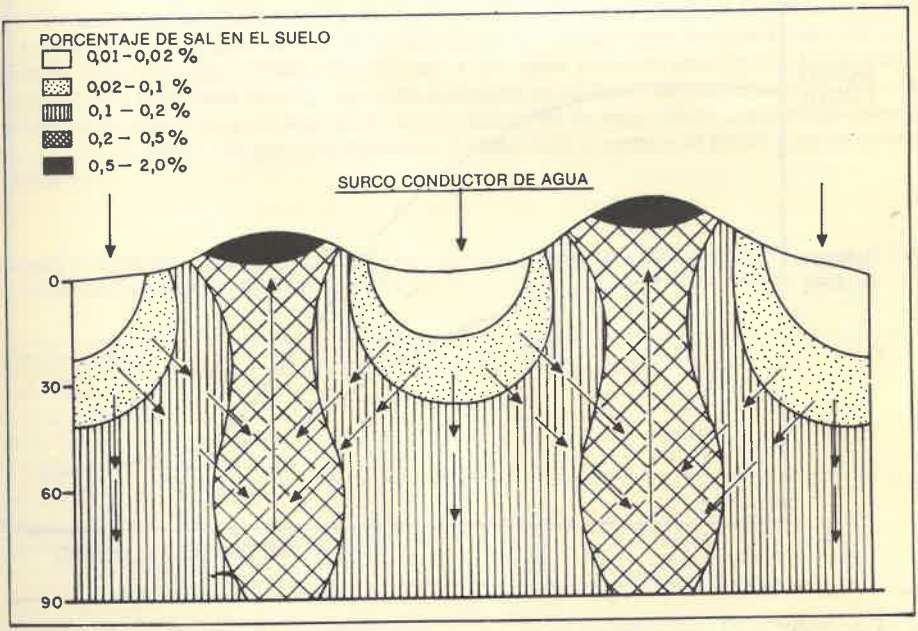


Fig. 9.59 *Esquema de salinización en un campo irrigado por surcos o en un campo plano, deficientemente nivelado (***Texas, Bull. 876,** *1962).*

La presión osmótica límite para el trigo es considerada igual a 0,3 atm. No se indica aquí la concentración en mmhos, porque idéntica cantidad de sales diferentes provoca un efecto diferente. Así, el ion calcio produce una depresión menor como idéntica concentración del ion cloro.

Debe ser mencionado aquí que NaCl, es decir, la sal común como ocurre en el agua de mar, difícilmente se acumula en el suelo, por ser muy hidrosoluble y de fácil lixiviación. Ocurre especialmente esto en suelos invadidos por el mar, como por ejemplo, cerca de Pelotas en Rio Grande do Sul.

Sin embargo, si la sal común se transforma en carbonato de sodio ($Na_2 CO_3$), se acumula en el suelo causando su salinización (116). En el noreste brasileño la salinización de los suelos se debe, principalmente, al carbonato de sodio, no tanto por cloruro y sulfatos que aparecen en cantidades mínimas.

En suelos fértiles, el aumento de la salinidad produce una depresión mucho más acentuada que en suelos más pobres (figura 9-60).

Cómo manejar el suelo irrigado en regiones semiáridas y subhúmedas para evitar la salinización

La salinización es el resultado de una fuerte evaporación y una infiltración deficiente de agua en el suelo. Por eso las sales se acumulan en la capa superficial del mismo.

En el nordeste brasileño, en 3 o 4 años de irrigación, el suelo se saliniza mucho antes de haber amortizado la instalación del sistema de irrigación. En un suelo salino la producción es muy baja, como por ejemplo, debajo de la represa de Orós. ***Todas las medidas que aumentan la infiltración y bajan la evaporación evitan la salinización.***

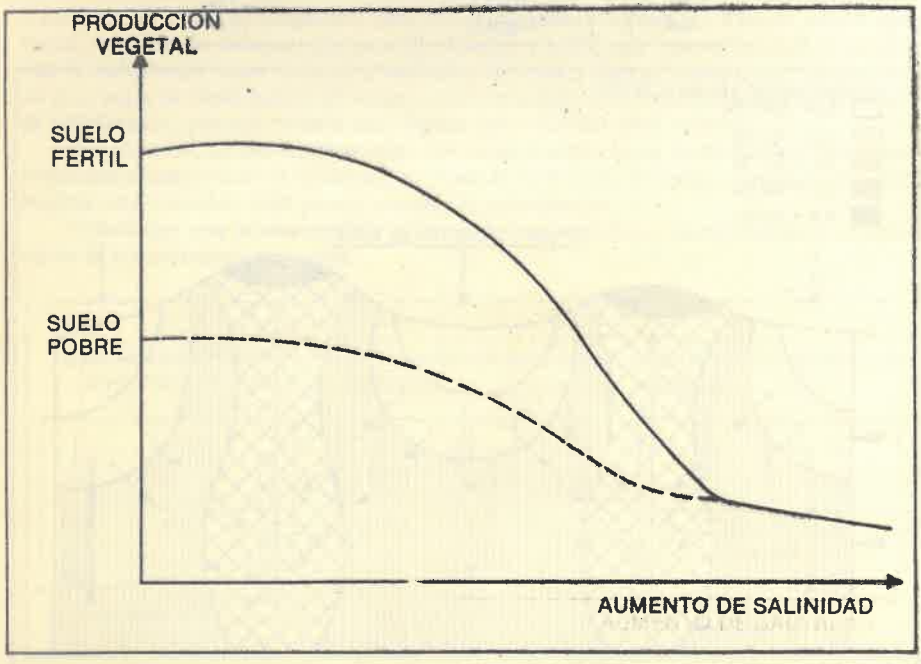


Fig. 9.60 *Efecto del aumento de la salinidad sobre el rendimiento de trigo en suelos de buena y poca fertilidad* (**Bernstein**, *1966*).

Cómo aumentar la infiltración

La infiltración aumenta cuando aumentan los poros grandes en el suelo, permitiendo el drenaje del agua por gravedad (174). Y estos poros se producen a través de una bioestructura granular. No es necesario que todo el perfil del suelo sea grumoso, el problema se concentra en la superficie. Si ésta mantiene su porosidad, no encostrándose ni compactándose, obstruyendo así los poros de las capas subyacentes, formando capas impermeables el agua se infiltra fácilmente (65).

En los Estados Unidos se usan sustancias plásticas, los "soil conditioners" o acondicionadores del suelo, como polivinilos o poliacrilatos acrilio y otros, a fin de producir una capa grumosa en la superficie del suelo (75) para aumentar la infiltración de agua y la penetración de aire. La conductividad del suelo disminuye con la mayor fracción arcillosa, pero aumenta con la elevación del tenor en óxido de hierro y aluminio (94).

Cuadro 9.45 *Cantidad de agregados mayores que 0,25 mm en un sierozen arenoso, en %* (**Kozlova,** *1962)*

Profundidad cm	*suelo virgen*	*Algodón* 4 años	*Alfalfa* 2 años	*Alfalfa* 3 años	*Forrajeras* 2 años	*Forrajeras* 3 años
0 - 10	19,3	8,4	11,0	17,2	18,1	32,8
10 - 20	21,2	9,8	17,5	12,9	15,4	29,9
20 - 30	28,0	10,6	10,4	9,9	11,2	12,5

Obs.: El 23% de los agregados mayores de 0,5 mm son suficientes en suelos arenosos. En los suelos cultivados se observa claramente una capa compactada entre 20 y 30 cm.

Se comprueba que sólo una tierra con 3 años de pasto ("capim") en la superficie, consiguió una agregación mayor que la tierra virgen. La capa compactada se presenta en todos los suelos cultivados, pero falta en la tierra virgen. La tierra virgen, no arada, siempre presenta su superficie algo compactada, debido a que tiene poco enraizamiento. Mientras se mantiene una cobertura vegetal, las sales existentes en el suelo no son lixiviadas, pero la estructura se mantiene y no hay acumulación adicional de sales. Pero, en el momento en que el suelo es arado, sin mayores cuidados, la superficie se compacta (69) y la salinización continúa.

Cuadro 9.46 *Modificación de la densidad aparente, porosidad y permeabilidad como consecuencia de la irrigación* (**Levedev,** *1948;* **Zimina,** *1957)*

Sierozen arenoso:	*0 - 10 cm*	*15 - 25 cm*	*50 - 60 cm*	*70 - 80 cm*
suelo virgen				
densidad aparente	1,17	1,18	1,16	1,26
poros %	57,00	57,00	58,00	58,00
coeficiente de infiltración, %	0,29	0,32	0,27	0,21
algodón irrigado:				
densidad aparente	1,34	1,70*	1,50	1,36
poros %	46,00	33,00	46,00	50,00
coeficiente de infiltración	0,07	0,02	0,34	0,26

* la densidad aparente de 1,60 está considerada como el límite de penetración para la mayoría de las raíces.

Se llama la atención sobre el hecho de que en el algodón la infiltración en la capa superficial se disminuye drásticamente, teniendo una capa prácticamente impermeable entre los 15 y 25 cm. Los problemas de la impermeabilidad del suelo agrícola, generalmente se restringen a la superficie.

El mantenimiento de la bioestructura superficial se consigue:

a) mediante la adición periódica de material orgánico;

b) por el mantenimiento de un equilibrio en nutrientes, que sirven del mismo modo a las plantas y a los microorganismos empeñados en el establecimiento de una bioestructura grumosa. Los suelos permeables no se salinizan pero se empobrecen, por lo que necesitan más fertilizantes que los no irrigados, especialmente en fósforo, nitrógeno y micronutrientes (93). Si el equilibrio mineral no es mantenido, sufrirán la permeabilidad del suelo tanto como la sanidad vegetal;

c) mediante la protección de la superficie del suelo. Esto puede hacerse por una cobertura muerta (53) o vegetal, por ejemplo: soja perenne dentro de un monte frutal (164) o estilosantes dentro de una plantación de caucho. Se da preferencia a una cobertura viva, ya que las plantas absorben minerales, permitiendo sólo la lixiviación del exceso, mientras que bajo una cobertura muerta, el suelo irrigado empobrece. Secuencia de lixiviación de los nutrientes: nitrógeno nítrico, potasio, calcio y fósforo, cuya lixiviación varía entre 2,5 y 20 kg/ha/año (183). El hierro y el manganeso siempre se tornan deficientes cuando comienza la salinización, mientras que el cobre y el cinc disminuyen con facilidad después de un encalado de suelos alcalinos. *Se llaman alcalinos a los suelos sódicos y salinos a los que contienen sales de calcio-potasio-magnesio acumulados en el perfil.* Por otro lado, en suelos irrigados, la acumulación de boro y litio sucede con facilidad hasta que se tornan tóxicos, lo que ya ocurre en una salinización adelantada. Por lo tanto, la fertilización del suelo irrigado exige experiencia para reducir desequilibrios en lugar de aumentarlos. Muchas veces la fertilización en suelo alcalino y salino es imposible, porque aumenta sobremanera la presión osmótica del suelo, disminuyendo las cosechas (ver cuadro 9-49);

d) mediante el cultivo correcto del suelo, utilizándose una labranza superficial o solamente un aflojamiento;

e) por una rotación de cultivos cuidadosamente planeada. Esta exige, cada tanto, plantar un cultivo que soporte un suelo con una humedad hasta del 100 %, como el arroz irrigado o las "canaranas" (*Echinochloa pyramidalis, E. Polystacha,* etc.). Cuando no es posible intercalar cultivos insensibles a la inundación, que es la única manera de "lavar" las sales del suelo, entonces debe ser hecho un "lavado" sin cultivo, aflojando profundamente el suelo y colocando una cobertura muerta. Por otro lado, se debe intercalar un cultivo que absorba mayores cantidades de sales, como girasol, sorgo o algodón, o que acidifique el suelo, como el trigo sarraceno;

f) elegir el sistema de irrigación que menos deteriore la bioestructura. Se siguen las formas de irrigación en secuencia decreciente respecto a su acción destructora de los grumos superficiales:

inundación → aspersión → infiltración → irrigación subterránea.

Esta última es la menos perjudicial, pero también la más cara.

¡Para una buena irrigación se necesita un buen drenaje! El drenaje exige:

a) en terrenos planos, que éstos sean completamente nivelados, para evitar la formación de pozos donde se acumule el agua. Estos se secan más lentamente y, además, acumulan también más sales, constituyendo "focos" de salinización o alcalinización. Una vez salinizado un "foco", éste retira agua de sus alrededores, por ley de ósmosis, por tener mayor presión, aumentando así cada vez más su salinización y su tamaño. Para evitar la formación de "focos" de salinización o alcalinización, es importantísimo nivelar perfectamente el área (figura 9-59).

b) en un terreno levemente inclinado, el drenaje debe estar siempre en el lado bajo de cada unidad de irrigación, mientras que los riegos, con el agua fresca, deben estar en el lado más alto.

c) cuando los drenajes son abiertos, deben mantenérselos rigurosamente limpios de limo y hierbas invasoras.

Antiguamente se recomendaba el uso de ácido sulfúrico para bajar el pH de suelos salinos o alcalinos. Pero el problema de estos suelos no es el pH, sino la concentración de sales y su presión osmótica elevada.

Si el suelo sulfatado fuese lavado enseguida, la sulfatación sería conveniente, ya que los sulfatos de magnesio, potasio y sodio se lixivian fácilmente. Como medida aislada, no se justifica. El calcio no puede ser lavado del suelo en forma de sulfato (yeso), pues en esta forma es muy poco soluble en agua.

Los suelos con nivel freático alto deben ser drenados como cualquier área irrigada. Donde el agua se estanca hasta la superficie debe ser bajada. No sólo para quedar fuera de la zona radicular, sino también para que no haya acumulación de sales provenientes de la evaporación. Se baja el nivel de agua por drenaje superficial o mediante cultivos con un consumo elevado de agua, como el girasol, sorgo, alfalfa, algunos mijos forrajeros, etcétera.

Una rotación posible sería: arroz-pueraria-algodón o sorgo-forrajeras-algodón.

Las forrajeras presentan la ventaja de facilitar la infiltración y evitar la evaporación. Pero no se trata solamente de evitar la evaporación, sino la proximidad del agua a la capa arable, que empobrece el suelo en diversos nutrientes, bajando las cosechas.

Cuadro 9.47 *Cantidades de nitrógeno en el suelo en relación al nivel freático* (**Van Hoorn**, *1958*)

Nivel freático debajo de la superficie del suelo, en metros	*Nitrógeno en el suelo, en kg/ha*
1,50	150
0,90	120
0,40	55

La cantidad de agua que se necesita para el "lavado" del suelo debe ser calculada así: la cantidad de agua que sube por los capilares (C), la cantidad de lluvia (P), más la cantidad de agua acrecentada por la irrigación (I), y que debe ser igual a la evapotranspiración (E), más el agua que percola para el subsuelo y el drenaje (PD), y que debe exceder en un 15 % la saturación del suelo (166, 168):

$$C + P + I = E + PD + \Delta U^{*}$$

Sin embargo, en este cálculo se supone que toda el agua pluvial es absorbida por el terreno, pero cuando las aguas pluviales se escurren debido a compactaciones superficiales, comunes en suelos cultivados, este cálculo falla y la irrigación debe usar mucha más agua que, a veces, no existe en el lugar.

Se aconseja la "arborización" de los canales de drenaje, especialmente para mantener el nivel freático bajo, evitando la salinización de la capa cultivada.

Se cree que una de las razones del efecto muy desfavorable del nivel freático alto sobre los cereales, es la falta de nitrógeno, lixiviado hacia el suelo.

Es ventajosa la arborización de los canales de drenaje, así como los canales de irrigación, en todos los casos en que el nivel freático está alto. Los árboles más aconsejados en los canales de drenaje son: moreras, tamarindos, pseudo-acacias y sauces. En los canales de irrigación, los árboles más aconsejables son: eucaliptus, bananos, mangueiras, etc (41). Los árboles no eximen de la limpieza de los canales.

* Δ U: cantidad de agua necesaria para saturar el suelo.

Cuadro 9.48 *Influencia del nivel de agua del subsuelo sobre la cosecha de cereables y poroto (***FAO-UNESCO** *1967)*

Cultivo	*Profundidades del nivel freático en metros*	*Rendimiento relativo en porcentajes* grano	paja
Cereales	1,50	100	100
	0,90	88	87
	0,60	77	78
	0,40	55	59
Poroto-haba	1,50	100	100
	0,90	90	100
	0,60	84	95
	0,40	76	86

Cuando existe un nivel freático muy superficial, es importante no dejar nunca el terreno sin vegetación. La alfalfa, el girasol y el sorgo son muy eficaces para bajar el nivel freático alto, pudiendo reducirlo hasta un metro por año.

Cómo evitar la evaporación excesiva

La evaporación se procesa en tres niveles (12):

1. de la superficie del suelo. Esta se controla por medio de la cobertura muerta del suelo;
2. por la ascensión de agua del subsuelo húmedo a la superficie seca. Este estagio generalmente es corto y poco importante;
3. por difusión del vapor de capas más bajas y húmedas del suelo o del nivel freático hasta la superficie. Este tipo de evaporación se controla únicamente por la bioestructura grumosa del suelo, que impide la formación de capilares de ascensión, obligando al vapor a pasar por los tortuosos caminos de los poros existentes (49) (figura 9-61).

Se comprobó que una capa grumosa en la superficie del terreno es mucho más efectiva en la reducción de la evaporación que una cobertura muerta rala.

La cobertura muerta consigue proteger la capa grumosa, como también lo hace la capa vegetal. Pero *la cobertura muerta en un suelo ya compactado no tiene sentido.*

Cuando existe evaporación del suelo, la velocidad de ésta depende del grado de humedad del aire. Si el aire fuera relativamente seco, la evaporación será rápida, y así la humedad va ascendiendo por la tierra y evaporándose en el aire. Por lo tanto esto contribuye eficazmente al resecamiento del suelo.

Si hay plantas en el terreno, una leve brisa aumenta la transpiración de las mismas, pero si hay vientos más fuertes de 4 m por segundo, es decir, 14 km/h, las plantas cierran los estomas y la transpiración cesa (figura 9-62).

Por eso, la simple disminución de la incidencia del viento consigue economizar hasta un equivalente de 750 mm de lluvia, como se pudo comprobar en Hawai entre fajas de araucarias (38) (figura 9-63). Esta cantidad significa nada menos que una economía de 7.500 m^3 de agua por hectárea (1 mm = 1 litro/m^2/ha de agua).

Los rompe-vientos son una medida eficaz para economizar agua. Tienen además la ventaja de no aumentar las sales del suelo y de no costar mucho su mantenimiento.

Cuando consideramos que en la irrigación de 200 millones de hectáreas de tierra no acrecentamos más que el 2 % de la cantidad de agua que se escurre anualmente de los suelos con superficie compactada (150), vale la pena preguntarse: ¿No sería más racional aumentar la infiltración mediante el restablecimiento de una estructura grumosa en la su-

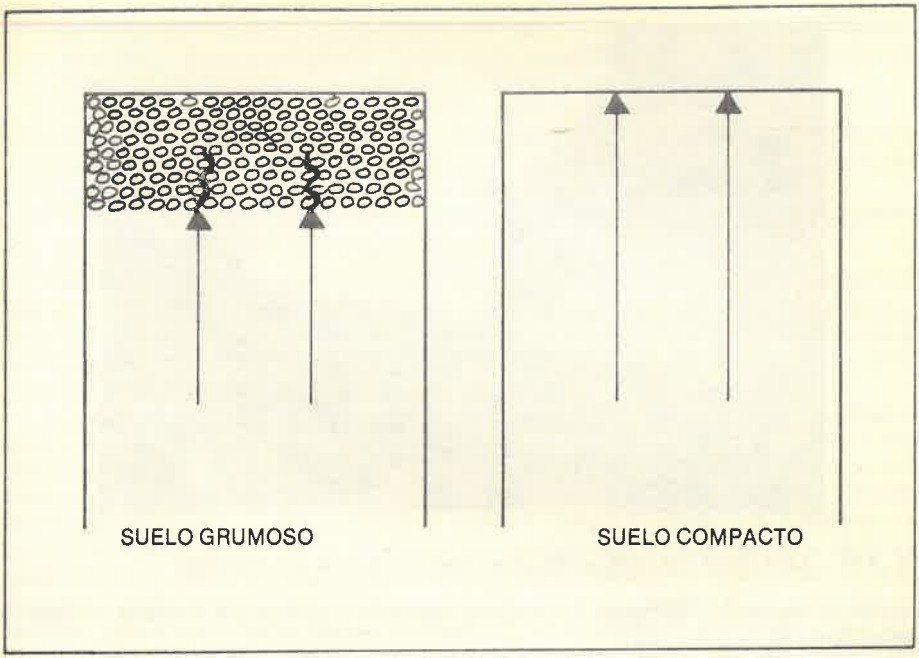


Fig. 9.61 *Diferencia de ascensión de vapor de agua en un suelo con superficie compacta y otro grumoso. (En el suelo grumoso los capilares de ascensión están interrumpidos).*

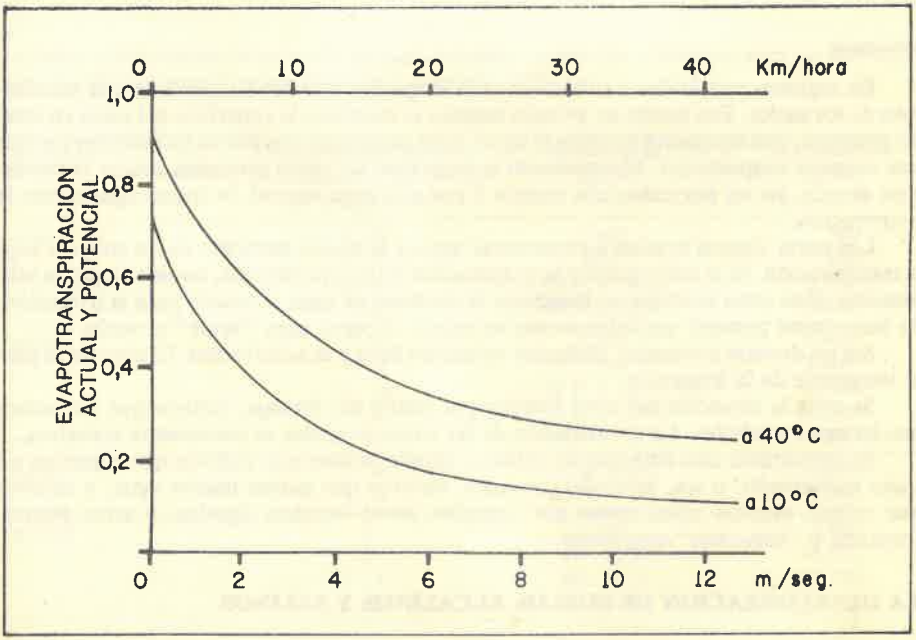


Fig. 9.62 *Influencia del viento sobre la evapotranspiración* (**Tanner**, *1960*).

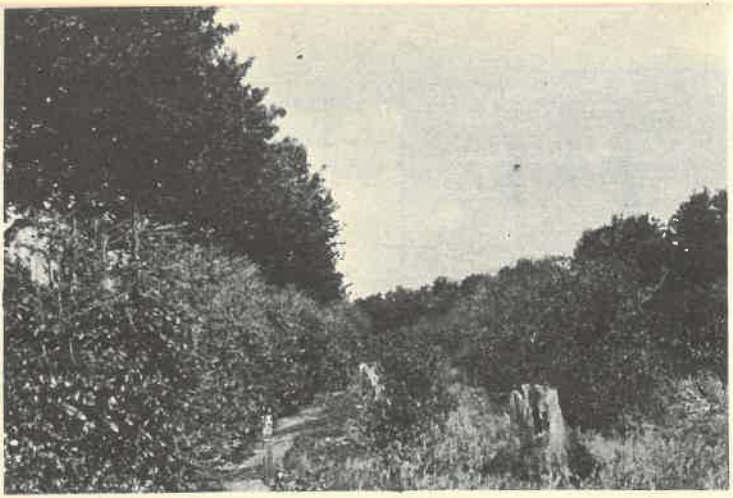


Fig. 9.63 *Café nuevo con corta-viento. (Los árboles utilizados son grevilleas).*

perficie de los suelos y disminuir la excesiva evaporación causada por el viento, en lugar de gastar tanto en la irrigación?

La transpiración vegetal disminuye también agregando en proporción adecuada potasio (60) y micronutrientes, especialmente cobre, manganeso, boro y cinc (114). Estos elementos, que tornan la savia vegetal más viscosa, evitan el gasto superfluo de agua (ver capítulo 1).

Resumen

En regiones semiáridas y subhúmedas la irrigación mal conducida lleva a la salinización de los suelos. Eso puede ser evitado cuando se mantiene la superficie del suelo en estado grumoso, con agregados estables al agua, para garantizar una buena infiltración y evitar una excesiva evaporación. Manteniendo la superficie del suelo protegida contra la insolación directa, ya sea por cobertura muerta o por una capa vegetal, se reduce igualmente la evaporación.

Los corta-vientos ayudan a economizar agua y la buena nutrición de los cultivos baja la transpiración. Si la infiltración y la evaporación están equilibradas, no tiene lugar la salinización. Con estas medidas se disminuye la cantidad de agua necesaria para la irrigación. Es importante proveer periódicamente un exceso de agua para "lavar" el suelo.

Sin un drenaje adecuado, cualquier irrigación lleva a la salinización. El drenaje es parte integrante de la irrigación.

Se evita la elevación del nivel freático por medio de: drenaje, cultivos que consumen mucha agua y árboles. La arborización de las zonas irrigadas es sumamente ventajosa.

Es importante una rotación de cultivos, donde se alternen: cultivos que soportan un suelo encharcado, o sea, saturado con agua, cultivos que gastan mucha agua, y cultivos que retiran muchas sales, como por ejemplo: arroz-forrajera-algodón o arroz-girasol-forrajera o "canarana"-sorgo-soja.

LA DESALINIZACION DE SUELOS ALCALINOS Y SALINOS

Cuando los suelos se tornan alcalinos o salinos, el principio de desalinización se resume en:

1. aumentar al máximo la permeabilidad del suelo, a fin de permitir la percolación del agua por el perfil y con eso, el "lavado" de las sales acumuladas, que anteriormente deben ser transformadas en formas hidrosolubles (5);
2. bajar la toxicidad de los compuestos minerales, reduciendo su solubilidad;
3. utilizar una rotación de cultivos que incluya plantas con tolerancia a la salinidad y que retiren muchas sales, como algodón, sorgo o trigo sarraceno, y algunos mijos, alternando con plantas que soporten la inundación del terreno;
4. mantener el suelo siempre cubierto, cuidar que el nivel freático no suba, y proveer regularmente materia orgánica.

Muchos suelos del nordeste brasileño sufren de alcalinidad por carbonatos de sodio. Mientras que el carbonato de calcio es poco soluble, los de magnesio, potasio y sodio son muy solubles, siendo por lo tanto, fácilmente tóxicos para las plantas. Cada exceso de una sal equivale a su toxicidad, independientemente de la toxicidad del compuesto químico. Los cloruros son más tóxicos que los sulfatos o los carbonatos.

Cuando el carbonato de sodio se transforma en bicarbonato, se torna menos alcalino y menos tóxico (73). También los cloruros pueden ser transformados en carbonatos y bicarbonatos. Esta transformación ocurre cuando se agrega ácido carbónico al suelo. El ácido carbónico se produce en la descomposición de la materia orgánica (99, 147). **Molina** y **Sauberan** (1967) tuvieron la genial idea de sembrar *"sorgo de escoba"* (S. Technicum) como fertilizante orgánico, que incorporaron superficialmente al suelo, luego de un intenso pastoreo. El "sorgo de escoba" es una planta altamente resistente a la salinidad. En la descomposición de materia orgánica seca se libera mucho gas carbónico (CO_2) que en el suelo alcalino, generalmente de estructura compactada, no escapa hacia el aire sino que se liga a las sales, transformándolas en compuestos menos nocivos. El pH (inicialmente de hasta 11.0)* decrece a 6,8 y en algunos casos, hasta 6,1.

En suelos sódicos, es ventajoso el uso de cloruro de calcio. NaOH - suelo + $CaCl_2$ Ca - suelo + NaCl que es fácilmente lavado del suelo por el agua (72) (figura 9-64).

Cuadro 9.49 *Rendimiento en suelos salinos, drenados, en relación al tenor en sales (en mmhos) y la fertilización mineral (***Development Board, Gagdad,** *1958)*

Cultivo	*Conductividad eléctrica en mmhos/cm até 60 cm de profundidad*	*Fertilización* kg/ha	*Rendimiento* kg/ha
trigo	4 - 8	Cero	360
	2 - 4	40 P	640
	2 - 4	40 P + 48 N	1.520
	< 2	40 P + 48 N	1.670
alfalfa	> 30	Cero	1.400
	< 8	Cero	3.800
	8 - 16	34 P + 80 N	10.000
	< 8	34 P + 80 N	12.000
	> 30	34 P + 80 N	1.860
papa	2 - 4	24 N + PK	6.870
	4 - 8	60 N + PK	1.540
poroto	2	Cero	2.940
	2	40 - 50 N	13.080
	2 - 4	40 - 50 N	5.700
	4 - 8	40 - 50 N	3.700

* Datos del supervisor técnico de esta edición, ingeniero Jorge S. Molina.

Con yeso ($CaSO_4$), la desalinización es muy lenta. Para evitar una futura resalinización, se debe cuidar que la superficie del suelo esté siempre cubierta, ya sea con vegetación o con paja.

Comprobamos que, cuando aumenta la salinidad, la fertilización baja el rendimiento al aumentar la presión osmótica en la solución externa a la raíz. Eso dificulta la absorción de agua y nutrientes.

A pesar de que los suelos salinos y alcalinos, cuando son irrigados, sufren fácilmente de falta de nitrógeno, solamente se benefician con su aplicación cuando la concentración de sales en la solución del suelo es suficientemente baja (73).

Para la fertilización vale: *La falta de un elemento nutritivo no puede ser compensada en suelos salinos o alcalinos, irrigados, mientras la concentración salina o alcalina no es bajada a un nivel tolerable para el cultivo.*

Los primeros cultivos de recuperación de suelos salinos son alfalfa, girasol, sorgo, cebada, "canarana" y "sudan-grass".

El proceso de "lavado" del suelo con un exceso de agua equivale a una inundación y es indispensable en la desalinización. Las plantas que pueden ser cultivadas durante este proceso son arroz, "canarana", "grama-larga" *(Paspalum dilatatum)* y varios tréboles como *Trifolium Hybridum.* Inmediatamente deben ser plantadas plantas semitolerantes a la salinidad o alcalinidad como algodón, sorgo, capim seda o "gramilla rastrera" *(Cynodon dactylon)* y otros, pero que exigen suelos bien drenados.

En todos los suelos irrigados la rotación de cultivos es importante para evitar la salinización o para conservar los suelos desalinizados.

Las ventajas son que cada cultivo absorbe un espectro diferente de sales, evitándose así la acumulación de una u otra sal. La estructura grumosa se conserva más fácilmente en

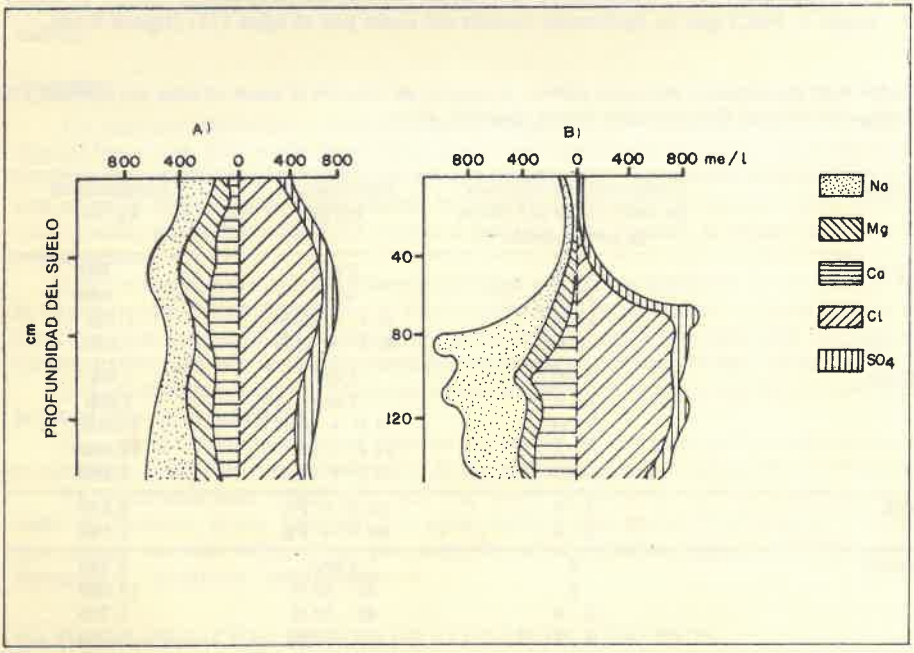


Fig. 9.64 *Desalinización por el lavado con agua (***Kozlova,** *1962).*
A) antes de la lixiviación; B) después de la lixiviación con 4.000 m^3/ha de agua. (41)

una agricultura con rotación de cultivos. Y finalmente se evitan plagas y pestes que se instalan con mucha facilidad en tierras irrigadas. Especialmente los nematodes son una plaga terrible, que en suelos arenosos pueden bajar sustancialmente los rendimientos de los cultivos, lo que significa el fracaso económico del agricultor, máxime porque todo cultivo irrigado es caro.

Resumen

La desalinización se hace de manera más económica mediante la incorporación de materia orgánica a la superficie del suelo, el lavado de las sales y la selección orientada de los cultivos.

RESUMEN GENERAL SOBRE EL MANEJO DE LOS SUELOS TROPICALES

En las regiones tropicales los cultivos no producen en suelos adensados o compactados, porque éstos no ofrecen las condiciones necesarias para la absorción de agua y nutrientes en presencia de temperaturas elevadas.

Mientras las condiciones biofísicas del suelo son buenas, las temperaturas elevadas serán ventajosas; pero cuando son precarias, las temperaturas elevadas serán desastrosas. Las condiciones biofísicas deterioradas son el mayor impedimento para la producción en regiones tropicales.

Para una buena producción se necesita: un suministro periódico de materia orgánica junto con fosfatos cálcicos; un suministro de minerales nutritivos, inclusive de calcio, magnesio y nutrientes; la protección del suelo contra el sol y las lluvias, y la rotación de cultivos para evitar la multiplicación explosiva de insectos y microorganismos que puedan tornarse plagas y pestes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Anthony, K.R.M.** e **S.G.Willimot,** -1957- Cotton interplanting experiments in the south west Sudan. *Emp. J. exp. agric. 25:29-36.*
2. **ACAR** -1976- Equivalências em adubos comerciais além do efeito da matéria orgânica. *Minas Gerais.*
3. **Aloisi, J.Sbº** e **H.V.Arruda, de** -1960- Efeito do preparo do solo na produção de milho. *Bragantia, 19(4):215-19.*
4. **Aspiras, R.B.; O.N.Allem** e **R.F.Harris,** -1971- The role of microorganisms in the stabilization of soil aggregates. *Soil Biol. e Biochem. 3(4):347-53.*
5. **Bache, B.W.** e **R.G.Heathecote,** -1969- Long term effect of fertilizers and manure on soil and leaves of cotton in Nigeria. *Exper. Agric. 5:241-47.*
6. **Bachelier, G.** -1963- La vie animal dans les sols. *O.R.S.T.O.M. Paris.*
7. **Bandy, D.E.** e **R.B.Musgrave,** -1975- Management of water stress periods. *Agron. Econ. Res. Trop. Soils, Ann. Rep. p 65-99.*
8. **Baver, L.D.** -1968- The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia. 32:383-413.*
9. **Bernstein, L.** -1966- Soil alcalinity and crop productivity. *Span. 9:76-9.*
10. **Birch, M.F.** -1958- Pattern of humus decomposition in east african soils. *Nature (Lon.) 181:788.*
11. **Bol'schakov, A.F.** -1966- Changes in the process of soil formation in solonchakic solonetz after melhoration. *Pochvov. (Amer. Issue) 6:653-57.*
12. **Bond, J.J.** e **W.O.Willis,** -1971- Soil water evaporation: long term drying as influenced by surface residuos and evaporation potential. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(6):984-87.*
13. **Bouchard, L.** -1967- Étude de l'évolution des sols sous culture en liaisons avez l'études de la régéneration de la fertilité. *Coll.Fert.Soils Tropic. (Madagascar) 15:8-30.*

13a. **Bouknadel, S.** -1969- Desenvolvimento de *Lepidosaphes becckii* em tangerinas com diferentes fertilizações. Em: **Chaboussou,** *p269.*

14. **Brasil, M.O.Sbº de,** e **A.F.Mello,de,** -1966- Influência da cobertura morta sobre a umidade de um solo cultivado com cafeeiros. *XII Reun. an. soc. bras. progr. ciência. Piracicaba.*
15. **Brader, L.** -1976- Fertilizers in regard to plant resistance to pests. Their role in FAO's "Integrate Pest Control Program". Em: *Proc. Fertilizer Use & Plant Health. Izmir (Turquia) p 307-19.*
16. **Bresler, E.** e **W.E.Kemper,** -1970- Soil water evaporation as an effect of wetting methods and crust formation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(2):3-8.*
17. **Brochado Miranda, V.H.** -1963- Adubação orgânica e a incorporação dos resíduos culturais. *Agron. Lusit. 25(5):745-65.*
18. **Buendia, J.P.L.; A.A.C.Puercino, J.C.V.Penna** e **J.F.Silveira, da,** -1973/74- Época de plantio da cultura algodoeira *(G. hirsutum L.)* nas principais regiões produtoras de Minas Gerais. *Rel. an. "Projeto Algodão", EPAMIG, p.181-205.*
19. - - - - - - - - - -, **A.A.C.Purcini,** -1973/74- Espaçamento e densidade de plantio da cultura algodoeira *(G.hirsutum L.)* no Norte de Minas Gerais. *Rel. an. "Projeto Algodão" EPAMIG, p 206-19.*
20. - - - - - - - - - -, **A.A.C.Purcini** e **L.Ferreira,** -1974/75- Espaçamento e densidade de plantio na cultura algodoeira *(G.hirsutum)* no Estado de Minas Gerais. *Rel. an. Projeto Algodão da EPAMIG, p 271-97.*.
21. **Caballa,R.P.** e **H.W.Fassbender,** -1970/71- Influência da calagem nas formas e disponibilidade de fósforo em solos da região cacaueira da Bahia. *CEPEC Inf. téc. p 102-05.*
22. **Cadima,A.; Z.P.Alium,de** e **W.Forsyth,** -1970/71- Fatores edáficos associados com o alto e baixo rendimento do cacaueiro em algumas áreas do Sul da Bahia. *CEPEC Inf. téc. p 118-19.*
23. **Chaboussou, F.** -1976- Cultural factors and the resistance of citrus plants to scale insects and mites. *Proc. Fertilizer Use & Plant Health. p 259-80.*
24. **Cheng, S.S.** e **P.C.Rezende Fontes,** -1973/74- Espaçamento e sistema de plantio na cultura da cenoura. *Proj. Olericult. Relat. an. Minas Gerais, p 113-19.*
25. **Clark, A.L. D.J.Greenland** e **J.P.Quirk,** -1967- Changes of physical properties of the empoverished topsoil of a red brown soil under grassland. *Austral. J. Soil. Res. 5:59-68.*
26. **Collis-George,N.** e **K.B.Laryes,** -1971- Behaviour of unstable soil aggregates during irrigation with and without flooding. *Austr. J. Soil Res. 9:7-20.*
27. **Corbini, J. L. O.V.Casagrande** e **A.V.Menzutti,** -1978- Filme de polietileno e a primeira produção de café. *VI Congr. bras. pesq. cafeeira, Ribeirão Preto, p 323-25.*
28. **Cory, J.T.** e **R.J.Morris,** -1968- Factors restricting infiltration rates on decomposed granitic soils. *Proc. Symp.: Water repelent soils. Univ. Calif. Riverside, p 149-62.*
29. **Davidescu, D.D.** -1965- Fumuré minérale e qualité du mais. *Trans. 4º Coll. région. Potassium. (Belgrade) p 85-97.*
30. - - - - - - - - - -, -1968- Ambiance, theorie et practique de la fertilization. *Ann Akad. R. S. Rumania, p 149-92.*
31. **Davidson, J.M. F.Gray** e **D.I.Pinson,** -1967- Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. Jour. 59(4):375-78.*
32. **Debano, L.F. L.D.Mann** e **D.A.Hamilton,** -1970- Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(1):130-33.*
33. **Donahue, R.L. J.C.Schickluna** e **L.S.Robertson,** -1972- Soils, an introduction to soils and plant growth. *3 ed Prentice Hall, New Jersey.*
34. **Dudal, R.** -1968- Paddy soils. *Newsl. Intern. Rice Comm. FAO (Bangkok) 7:19-27.*
35. - - - - - - - - - - e **F.R.Normann,** -1964- Major soils of south east Asia, their characteristics, use and agricultural potencial. *J. tropic. Geogr. 18:54-80.*
36. - - - - - - - - - -, -1966- Soil resources of rice production. Mechanization: *World rice confer. (Massey Fergusson & FAO).*
37. **Edwards, C.A.** e **J.R.Lofty,** -1975- The invertebrate fauna of Park grass plots. I: Soil fauna. *Rep. Rothamsted exp. Stn. 1974, Pt. 2:133-44.*
38. **Ekern, P.C.** -1964- Soil moisture and soil temperature changes with use of black vapor barrier mulch and their influence on pineapple growth in Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 1.* Em: **Donahue,** 1972, Soils, *Prentice Hall, New Jersey, p 49.*
39. **EMBRAPA** -1977- Sínt. Reun. Plantio Direto, *Centro Nac. Pesq. Soja.*
40. **Evans, H.J., K.J.Parkinson** e **D.L.Trudgill,** -1975 - Effects of potato cyst-nematodes on potato plants. III: Effects on the water relation and growth of a resistant and a susceptible variety. *Nematodol. 21:273-80.*

41. **FAO/UNESCO,** -1967- International sourcebook on "Irrigation and drainage of arid land in relation to salinity and alcalinity" *Impr. Rolland, France, p 625.*
42. **Farbrother, H.G.** e **H.L.Manning,** -1952- Climatology. *Progr.Rep. Exp. Sta. 1951/52, Uganda Emp. Cott. Grow. Corp. London, p 3-6.*
43. **Firsova, V.P.** -1965- Influence of forest felling and burning of clearing, on the content and dynamic of water soluble substances in the sodpodzolic soils of Transurals. *Pochvov. (Amer. Issue) 6:633-41.*
44. **Fitts, J.W.** -1972- Sur l'emploi des fertilizants et leurs effect sur l'accroissement des recoltes. *Scient. Varia, 38:5-44.*
45. **Fonseca, R. Z.G.Santos** e **A.F.Jesus,** -1967- Memor. *II Confer. Int. Pesq. cacau, Itabuna, p 461-65.*
46. **Franz, H.** -1964- Die Bedeutung des bodenbiologischen Geschehens für den Fruchtbarkeitszustand. *Z. Pflanzenern. Düng Bodenkd. 108(2):123-28.*
47. **Gee, J.C. de,** -1950- Preleminary oxydation potencial determination in a Sawah profil near Bogor (Java). *Trans. 4º Int. Congr. Soil Sci. 1:300-03.*
48. **Gill, W.R.** -1971- Economic assessment of soil compaction. Em: Compaction of agricultural soils. *Barnes, Am. Soc. Agric. Engineers, St. Joseph, Mich.*
49. **Giesel, W, M.Renger** e **O.Strebel,** -1972- Berechnung des kapilaren Aufstiegs aus dem Grundwasser in den Wurzelraum. *Z. Pflanzenern. Bodenkd. 132(1):17-30.*
50. **Gilbert, S.M.** -1945- The mulching of *Coffea arabica. E. Afr. Agric. J. 11:75-9.*
51. **Gomes, A.G. H.Gargantini** e **W.R.Venturini,** -1963- Competição entre fertilizante nitrogenado orgânico e mineral na cultura de batatinha. *Bragantia, 22(46):575-81.*
52. **Graner, E.A.** e **C.Godoy Jr.** -1971- Sombreamento dos cafezais. V: resultados de mais dois biênios 1967/68 e 1970/71. *An. ESA Luiz Queiroz, XXVIII: 153-64.*
53. **Greb, B.W. D.E.Smika** e **A.L.Black,** -1967- Effect of straw mulch rates on soil water storage during summer fallow in the great Plaines. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(3): 356-59.*
54. **Greene, H.** -1960- Paddy soils and rice production. *Nature (London) 186:511-13.*
55. **Gurewitsch, S.M.** -1961- Abhängigkeit der Düngung von Niederschlagsmengen auf mächtigen Tschernozemboden in Gebieten mit unzureichenden Niederschlägen. *Pochvov. 7:85-90.*
56. **Handog. A.S.** e **R.Bartolomé,** -1966- The effect of spacing on the yield of arabica coffee. *Coffee, Cacao J. 9(1):10-18.*
57. **Hardy, F.** -1962- Nutrient status of good and poor cacao soils. *Int. Agric. Sci. Turrialba Costa Rica.*
58. **Harris, R.F.** e o. -1964- Mechanisms of soil aggregate stabilization by fungus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(4)529-53.*
59. **Hatward,** -1949- Em: **Müller,** 1974, Aulas de Fisiologia Vegetal, *curso de Pós-Grad. Biodin. e Produt. Solo, Sta.Maria/RS.*
60. **Herwig, K.** e **H.Linser,** -1968- Zusammenhänge zwischen Bindung, Transpiration und Nährstofftransport bei Lein unter besonderer Berücksichtigung einer varierten Wassergabe und Kalkdüngung. *Kali-Briefe, 2/23.*
61. **Hillel, D.** e **W.R.Gardener,** -1970- Non stationary infiltration in profils wich have surface crusts. *Soil Sci. 109:69-79.*
62. **Iwanow, W.P.** e **G.W.Jacobson,** -1964- Die Bedeutung der Wurzelausscheidungen in der Pflanzenernährung. *Agrokhimya, 96-107. (Ref. Z. Pflanzenern. D. Bodenkd. III(3): 236, 1965).*
63. **Janson, S.L.** -1965- Uber die Natur der Bodenfruchtbarkeit erläutert an Erfahrungen im schwedischen Pflanzenbau. *Z. Pfalnzener. Düng. Bodenkd. 109(2):120-39.*
64. **Jarreiro, M.** e **E.Ortega,** -1968- Fertilización del arroz en el valle del rio Fuerte. *Agr. Téc. (México), 2(8):370-3.*
65. **Jencker, P.H.** e **J.J.Maddison,** -1967- Curves of hydraulic tension from a sand-turf mixture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(1):5-8.*
66. **Jenny, H.** -1965- Bodenstickstoff und seine Abhängigkeit von Zustandfaktoren. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 109(1):97-112.*
67. **Jones, J.N.** e o. -1968- The no-tillage system for corn. *Agron. J. 60(1):17-20.*
68. **Jones, F.G.W.** -1976- Pest resistance and fertilizers. Em: Fertilizer use & Plant health, *Potash symp. Izmir, Turquia, p 233-58.*
69. **Karmanov, J.J.** -1966- Changes in tropical soils under agricultural use. *Pochvov. (Amer. Issue) 1:36-49.*

70. Kawaguchi, K. e Y.Matsuo, -1956- Movement of active oxyde in dry paddy soil profils. *Trans. VI Int. Congr. Soil Sci. (Paris), Vol. C: 533-37.*
71. Kawano, K. P.A.Sanchez, M.A.Nureña e o. -1971- Upland rice in the peruvian selva. *Rice Bread. Symp. Int. Rice Res. Inst. (Los Baños, Filipinas).*
72. Kelley, O.J. -1954- Requirement and availability of soil water. *Adv.Agron. 6:67-94.*
73. Kelley, W.P. -1951- Alkali soils. *Reinhold, New York.*
74. Kemmler, G. -1970- High yielding varieties (HYV) need high rates of potassium application. *Phosph. & Potassium. Nov/Dec. Issue, London.*
75. Kijne, J.W. -1967- Influence of soil conditions on infiltration and water movement in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4(3):406-13.*
76. Klapp, E. -1956- Wiesen und Weiden. *Parey, Berlin & Hamburg.*
77. Kochman, R.A. C.M.Borkert O.J.F.Siqueira, de, e J.A.Martin. -1973/74- Determinação do efeito residual da profundidade de calagem sobre as propriedades do solo e o rendimento da cultura em sucessão trigo-soja. *II Reun. conj. pesq. soja, Porto Alegre.*
78. Kovda, V.A. -1961- Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in dry zones. *Aride Zone Res. XIV (2):1-123.*
79. ----------, -1972- Vers une fertilité controlé des sols. *Nature & Resources, VIII(2): 2-4.*
80. Kozlova, V. -1962- Em: FAO/UNESCO Int. Sourcebook on irrigation and drainage. *Rolland, França, 1967.*
80a. Kutschera, L. -1960- Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter *DLG, Franfurt/ Main.*
81. Krutman, S. -1968- Cultura consorciada: cana x feijoeiro. Primeiros resultados. *Pesq. agropec. bras. 3:127-34.*
82. Lang, A.L. J.W.Pendleton e G.H.Duncan -1956- Influence of population and nitrogen levels on yield and protein and oil content of nine corn hibrids. *Agron. Jour. 48: 284-9.*
83. Lebedev, A.F. -1936- Soil and groundwater; Em: FAO/UNESCO, Sourcebook on irrigation and drainage. *Rolland, França. (1967).*
84. Leopoldo, P.R. e F.A.D.Conceição, -1975- Efeitos de diferentes tensões de umidade do solo, com e sem cobertura morta, na produção de alho, *(Allium sativum L. cult. "Lavina") Rev, Oleric. XV:41 (Botucatu).*
85. Lourenço, A.J. H.J.Sartini e M.Santamaria, -1976- Efeito do fogo em pasto de capim-jaraguá *(Hyparrhenia rufa)* consorciado com uma mistura de leguminosas tropicais. *B. Industr. anim. Nova Odessa, 33(2):243-49.*
86. Machado, J.A. -1976- Efeito dos Sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades físicas e químicas do solo. *Tese de livre doc. UFSM/RS.*
87. Mahajan,K. B.P.Childse e V.Kumar, -1971- Influence of oxygen levels and mechanical compaction on rice growth and yield. *Il Riso, 20(3):207-12.*
88. Manetti, J.F^{o} e D.Santos, -1977- Tolerância ao alumínio em 4 cultivares de café *(Cofea arabica L.) V.Congr. bras. pesq. cafeeiras, Guararapi (ES), p 21.*
89. Mannering, J.V. -1975- Influência de variável quantidade de restos de cultura na infiltração de água. *I Encontro nac. pesq. erosão com simuladores de chuva. EMBRAPA, Parand.*
90. Marques, A.G. J.Bertoni e G.B.Barreto, -1961- Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia, 20(47):1143-82.*
91. Margoli, E. -1977- Efeito das queimas em solos litólicos da zona agreste de Pernambuco. *XVI Congr. bras. ciênc. solo, São Luis, p 55.*
92. Martin, W.S. -1944- Grass covers in their relation to soil structure, *Emp. J. exp. Agric. 12:21-32.*
93. Mateo-Segaste, E. -1970- Transición de la agricultura extensiva a intensiva con el empleo de fertilizantes: La interacción entre la irrigación y las enfermidades de las plantas. *Rev. Potása, 6/31.*
94. McNeal, B.L. D.A.Layfield, W.A.Norwell e J.D.Rhoades, -1968- Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mineral salt solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(2):187-90.*
95. McRae, J.O. e T.E.Castro, -1967- Nitrogen fixation in some rice soils. *Soil Sci. 44: 66-75.*
96. Medcalf, J.C. -1956- Preliminary studies on mulching young coffee in Brazil. *IBEC Res. Inst. Bull, 12.*

97. **Mendes, W.** e **J.Bennema,** -1965- As mais importantes limitações do uso agrícola dos solos brasileiros sob ponto de vista das condições ecológicas. *Agronomia, 23(1):29-32.*
98. **Miyasaka, S.** e **L.A.C.Lovadini,** -1967- Efeitos sobre a produção do feijoeiro da aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta. *Bragantia 26(14):187-96.*
99. **Molina, J.S.** -1967- El hombre frente a la Pampa. *Espindola, Col.: Tranqueras abiertas, nº 3, Buenos Aires.*
100. **Moreira, T.J.** -1966- Introdução ao problema de fertilidade do solo na cafeicultura angolana. *Inst. Invest. Agron. Angola, I reun. téc. 1964.*
101. **Nagarajarov, Y.** -1971- Einfluss des Gefüges auf die Wasserbindung durch Bodenproben. *Z.Pflanzenern. Bodenkd. 127(2):134-43.*
102. **Nascimento, J.C.** -1971- Influência da queimada sobre algumas características químicas do solo. *CEPEC, Inform. Téc. 1970, p 95-6.*
103. **Nicol, H.** -1935- Mixed cropping in primitiv agriculture. *Emp. J. exp. Agric. 3:189-95.*
104. **Nye, P.H.** e **D.J.Greenland,** -1964- Changing in the soil after clearing tropical forest. *Plant & Soil, 21:101-12.*
105. **Oliveira, A. J.C.Montojos** e **T.Igue,** -1964- Adubação de arroz-de-sequeiro. I: Avaliação de influência de nitrogênio, fósforo e potássio sobre características de variedade precoce de arroz-de-sequeiro. *Bragantia, 23(8):73-81.*
106. - - - - - - - - - -, -1965- Ensaios preliminares de adubação de arroz-sequeiro. II: cultivar "Pratão". *Bragantia, 24(33):37-46.*
107. - - - - - - - - - -, -1966- Ensaios preliminares de adubação de arroz-sequeiro. III: Cultivar "Dourado Precoce". *Bragantia, 25(1):1-8.*
108. **Oliveira, V.G. A.A.Veiga, de A.Conagin e o.** -1972- Ensaio de rotação bienal de culturas. *Bragantia, 31 (único): XLIX-LVII.*
109. Pearsall, W.H. -1950- The investigation of wet soils and its agricultural implication. *Emp. J. exp. Agric. 25:79-94.*
110. Peele, T.C. e **O.W.Beale,** -1959- Laboratory determination of infiltration rates of disturbed soil samples. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. citado em* **Donahue,** *1972, Soils, Prentice-Hall, New Jersey, p 354.*
111. Pendleton, J.W. -1965- Increasing water use efficiency by crop managment. *Plant Environm. water use p 236-55.*
112. Penny, J.M. -1965- Ensaios de adubação: Adubos em cobertura. *Lav. Arroz. 19(221).*
114. Peive, J.B. -1961- Mikroelemente und Pflanzenernährung. *Isd. AH. Latw. SSR, 1: 35-60.*
115. Popenoe, H.L. -1957- The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. *Proc. 9the Pacific Soil Congr. (Bangkok), 7:72-77.*
116. **Pratt, P.E.** e **F. Bair,** -1969- Sodium hazard by irrigation water rich in carbonate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33(6): 880-83.*
117. **Primavesi, A.M.** e **A.Primavesi,** -1968- Maisertrag in Abhängigkeit von Bodenstruktur und Mikronährstoffdüngung. *Bodenkult. 19(1):302-06.*
118. - - - - - - - - - -, -1969- A fixação de N em solos de arroz-irrigado. *XII Congr. bras. ciênc. solo, Curitiba.*
119. - - - - - - - - - -, -1971- Unterschiedliche Analysenergebnisse bei trockenen und nassen Böden. *Agrochim. XV (4-5):454-60.*
120. - - - - - - - - - - e **A.Primavesi,** -1971- Influência de cobre na nutrição de arroz irrigado *(Oryza sativa L.) Rev. Centro Ciênc. Rur. 1(3):9-14.*
121. - - - - - - - - - -, -1971- Influência de técnica de plantio no rendimento do milho *(Zea mays). Rev. Centro Ciênc. Rur. 1(1):45-58.*
122. - - - - - - - - - - e **C.Veiga,** -1971- Influência do equilíbrios nutricionais no arroz irrigado sobre a resistência à brusone *(Piricularia oryzae Cav.). Rev. Centro Ciênc. Rur. 1(2): 101-24.*
123. - - - - - - - - - - e **A.Primavesi,** -1974- Aumento de nitrogênio no solo pela aplicação semi-aeróbia de palha, fósforo e cálcio. *Rev. Centro Ciênc. Rur. 4(1):9-18.*
124. - - - - - - - - - -, -1971- Condições ecológicas que influem no aparecimento do Mio-Mio *(Baccharis coridifolia DC.) Relat. de pesquisa à FAPERGS.*
125. - - - - - - - - - -, -1968- Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria/RS, p 253-60.*
126. **Primavesi A.** -1965- Cultura da cana-de-açúcar. *2 ed Melhoramentos, São Paulo.*
127. - - - - - - - - - -, -1968- Organic matter and soil productivity in the tropics and subtropics. *Scient. Varia, 32:653-99.*

128. ----------, **O.Gressler e F.Andrae,** -1970- Estudo da fertilidade dos solos do município de Faxinal de Soturno (RS). *Imprens. Univ. Sta.Maria.*
129. **Primavesi A.M. e J.A.Machado,** -1968- Influência da microflora trófica da cultura precedente sobre o trigo. *(Triticum aestivum). Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria/RS, p 469-74.*
130. **Primavesi, A.; F.Andrae e O.Gressler,** -1971- Estudo da fertilidade de solos do município de Cerro Largo (RS). *XII Congr. bras. ciênc. solo, Vitória.*
131. ----------, -1969- Nutzlandgewinnung in den Tropen und Subtropen. *Bodenkult. 20(1):1-16.*
132. ----------, -1972- Correct use of fertilizers in the humid tropicas and subtropics on I: plant resistance to disease, II: crop productivity. *Scient. Varia, 38:139-87.*
133. **Quinio, N.** -1967- Methods de cultive du sol. *Fertil. sols tropic, p 1685-1708.*
134. **Reese, E.T.** -1968- Microbial transformation of soil polysaccharides. *Scient. Varia, 32:536-77.*
135. **Rezende, F.P.C. J.A.Menezes Sbrº, de e R.Marinato,** -1973/74- Efeito de espaçamento, de poda e de condução das ramas sobre a produção da morangueira. *Relat. an Projeto olericultura (MG).*
136. **Robertson, W.K.** -1968- Minimum tillage for row crops. *Nota partic. da Exp. Sta.Flórida.*
137. **Robinson, J.D. e E.M.Chernery,** -1958- Magnesium deficiency in coffee with special references to mulching. *Emp. J. exp. Agric. 26:259-73.*
138. ---------- e **P.H.Hosegood,** -1965- Effect of organic mulch on fertility of a latosolic coffee soil in Kenya. *Exp. Agr. 1:67-80.*
139. **Rodrigues, O. e E.Abramides,** -1969- Influência da seca e práticas de cultivo do solo na turgescência da laranja. *Ciência e Cult. XXI(2):375-76.*
140. **Russell, E.W.** -1961- Soil conditions and plant growth. *9 ed. Longmann, Green & Co. London.*
141. ----------, -1968-A importância da estrutura ativa do solo na história da humanidade. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria/RS, p 269-84.*
142. **Saint, S.J.** -1930- Manurial trials; sugar cane. *Repte. Dept. Agric. (Barbados) 1929; 30: 82-93.*
142a. **Salinas, J.G. E.Gonzales, J.Kamprath e o.** -1975- Residual depth of lime rates and depth of incorporation. *Agronomic-Economic Res. on Tropical Soils, Ann. Rep. North Carolina State Univ. p 16-32*
143. **Sanchez, P.A.** -1972- The review of soil research in tropical Latin America. *AID/csd. 2806, Soil Sci. Dpt. North Carolina State Univ.*
144. ---------- e **M.A. Nurena,** -1972- Upland rice improvement under shifting cultivation system. *N.C.Agr. Exp. Tech. Bull.*
144a. **Sanchez, P.A.** -1973- *Agron. Edon. Res. Tropical Soils, p 62-63.*
145. **Sandhu, B.S. e D.B.Bumbla,** -1967- Effect of addition of different organic materials and gypsum on soil structure. *J. Indian Soil Sci. 15(3):141-47.*
146. **Santana, M.B.M. e P.R.Cabala** -1970/71- Efeitos de doses crescentes de Al no desenvolvimento das plântulas de cacau. *CEPEC Inform. téc. 99.*
147. **Sauberan, C. e o.** -1968- Recuperación biológica de suelos sódicos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria/RS, p 293-98.*
148. **Savage, S.M. J.Osborn, J.Letey e C.Heaton,** -1972- Substances contributing to fire induced water repellency in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36(4):674-78.*
149. **Scheffer, F. e P.Schachtschabel,** -1960- Bodenkunde, *5 ed. Enke, Stuttgart.*
150. **Schendel, V.** -1967- Probleme des Wasserhaushaltes, der Bodenerosion und der Bewässerung in wärmeren Klimazonen. *Kulturtech. u. Flurber. 8(2):68-84.*
151. **Schmid. G.** -1966- Meliorationsdüngung der Ackerböden mit Ca, Mg und K. *Kali-Briefe, 1/4.*
152. **Schmitt, N.C. e H.Gargantini,** -1966- Aplicação de nitrogênio em cobertura em cultura de arroz. *Bragantia, 25(5):57-63.*
153. **Schultz, L.A.** -1978- Manual do plantío direto. *Agropecuaria, Porto Alegre.*
154. **Secretaria de Agricultura,** -1978- Conservação do solo. *Campinas.*
155. **Sekera, F. e A.Brunner,** -1943- Beiträge zur Methodik der Gareforschung. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 29:169-72.*
156. ----------, -1953- Der gesunde und der kranke Boden. *Parey, Berlin.*

157. **Sims, J.L.** e **B.C.Blackmoon.** -1967- Predicting nitrogen availability to rice. *Soil Sci & Plant Nutr. 12:107-14.*
158. **Smith, D.W.** -1970- Nutrient concentration before and after burning. *Soil Sci. 50:17-29.*
158a. **Smith, A.N.** -1959- Chemical department report: *Tea Res. Inst. East Africa. Ann. Rep. 1958, nº 34.*
159. **Stallings, J.H.** -1957- Soil conservation. *Prentice-Hall, New Jersey.*
160. **Suarez de Castro, F.** -1957- Las quemas como practica agrícola y sus effectos. *Fed. Nac. Cafetaleros, Colombia, Bol. Téc. 2*
161. **Swaby, R.J.** -1968- Stability of soil organic matter and its significance in practical agriculture. *Scient. Varia, 32:583-613.*
162. **Sykes, D.J.** e **D.W.Loomis,** -1967- Plant and soil born factors at the permanent wilting point and field capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 104(1):163-73.*
163. **Tadashy, O. O.Yoshiro, K.Koji** e o. -1970- A adubação em campos nãc lavrados de arroz irrigado. *Chika Shig. Chos. Kokoku: 38:19-21.*
164. **Tanaka, A.** e **S.A.Navasero,** -1966- Growth of rice seedlings on acid sulphate soils. *Soil Sci. & Plant Nutr. 12:107-14.*
165. **Tedrow, J.C.F.** -1966- Arctic desert soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30(2):381-87.*
166. **Thorne, D.W.** e **H.B.Peterson,** -1954- Irrigated soils. *Elakestone, New York.*
167. **Torres, E. E.F.Queiroz, de** e **N.Neumaier,** -1977/78- Ecologia e práticas culturais. *EMBRAPA, Reun. pesq. Soja, Reg. Sul, Florianópolis, p 88-134.*
168. **VanHoorn, L.** -1958- Em **Wrigley,** 1969, Tropical soils. *Faber & Faber, London.*
169. **Varade, S.B.** e **E.A.Pahl,** - 1972- Influence of soil compaction and N fertilization on growth of rice. *Il Riso, 2(3):219-23.*
170. **Vasconcelos, N.** e **L.M.Almeida,** -1966- Adubação química do arroz no Nordeste. *Pesq. agropec. bras. 1:353-56.*
171. **Viana, A.S. A.P.Camargo, de** e **H.D.Dias,** -1978- Efeito do espaçamento progressivo na produção de café. *VI congr. bras. pesq. cafeeira, Ribeirão Preto/SP. p 10-12.*
172. **Vittinghoff-Schell, V.** -1968- Der uns alle umfassende Haushalt des Bodens. *Boden & Gesundh. 61(4):4-12.*
173. **Voisin, A.** -1960- Dynamiques des herbages. *Maison Rustique, Paris.*
174. **Wadleigh, C.H. W.A.Raney** e **D.M.Herschfield,** -1965- Plant environment and efficient water use. *McMillan, New York.*
175. **Wagner, H.O.** e **H.Lenz.** -1953- A floresta e a conservação do solo. *Melhoramentos, São Paulo.*
176. **Watson, G.A.** -1960- Cover plants and soil nutrient cycle in *Hevea* cultivation. *Proc. Natur. Rubber Res. Conf. (Kuala, Lumpur).*
177. **Watters, R.F.** e **L.Bascones,** -1971- Influence of the shifting cultivation on soil properties at Altamira-Calderas. *FAO Forestry Developm. 17:291-99.*
177a. **Weaver, J.E.** -1920- Root development in the grassland formation. *Carnegie Inst. Wash. 292:1-151.*
178. **Wessell, M.** -1967- Cacao soils of Nigeria. *Memor. II Conf. Int. Pesq. Cacau, Itabuna, p 417-30.*
179. **Wistholter, S.** e **B.R.Bouglé,** -1975/76- Informe sobre sistemas de manejo de solo, densidades de semeaduras e doses de nitrogênio na cultura de trigo. *Rel. Téc. An. Centro Nac. Pesq. Trigo, 1977. p 62-7.*
180. **Wiersum. L.K.** -1961- Utilization of soil by plant root system. *Plant & Soil, 15:189-92.*
181. **Wrigley, G.** -1969- Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*
182. **Wutke, A.C.P.** e **R.Alvarez,** -1968- Restauração do solo para a cultura de cana-de-açúcar. *Bragantia, 27(18):201-17.*
183. **Yakima, Y.** -1965- Em **Wrigley,** 1969, Tropical Agriculture, *Faber & Faber, London.*
184. **Zimina, S.** -1957- Em: Int. sourcebook of irrigation and drainage. *FAO/UNESCO, 1967, Paris, p 72.*
185. **Geus, J. G. de,** -1973- Fertilizer Guide for the tropics and subtropics. *Centre d'étude de l'Azote, Zurique.*
186. **Rovira, A.D.** -1962- Plant root exudates in relation to the rhizosphere microflora. *Soils* & Fertilizers XXV/3:167-72.
187. **Scharpf, H.C.** -1973- Zur Ernährungsphysiologischen Qualität von Gemüse. *Tese Techn. Univ. Hannover.*
188. **Haag P.** -1972- Nutrição mineral das plantas. *ESALQ, Piracicaba.*

Capítulo 10

SUELOS ESPECIALES

MANEJO DEL SUELO PASTORIL

El suelo pastoril se distingue del suelo agrícola porque exige técnicas ecológicas. Se sabe que la aireación del suelo agrícola se lleva a cabo por medio de un arado o subsolador. El suelo irrigado por submersión se ventila, principalmente, por el drenaje que permite la entrada de oxígeno. El suelo pastoril se afloja y airea a través de la incentivación del crecimiento radicular de las forrajeras (18, 34).

En tierras agrícolas se implanta un cultivo y se hace todo lo posible por mantenerlo en el campo hasta la época de la cosecha. Se lo fertiliza, se lo irriga, se lo escarda o se lo trata con herbicidas, se lo protege con "mulch" o cultivos protectores, se lo defiende con defensivos, en fin, siempre es la mano del hombre que interviene en favor del cultivo contra los factores ecológicos.

En las pasturas, praderas e invernadas esto es diferente. Después de ser implantadas deben persistir en forma de tapiz herbáceo denso durante muchos años, resistiendo el pastaje y el pisoteo del ganado, y "conformándose" con las condiciones del suelo, que se empeoran por lo general con el correr del tiempo. Se espera que aun así provean forraje abundante y nutritivo (1, 14, 28, 42). Quien considere la "agrostología" como simple "forrajicultura", tratando las pasturas como si fuesen campos agrícolas, nunca obtendrá precios suficientemente altos como para pagar los gastos (36, 42). En la pastura, ya sea nativa o plantada, hay que tener en cuenta estos principios ecológicos: se instalan y dominan sólo aquellas plantas que encuentran todas sus exigencias satisfechas (18, 52, 53). Se puede plantar la forrajera que a uno se le ocurra, pero el hecho de que ésta "permanezca" en el lugar, dependerá de su adaptación al medio ambiente y al trato que el ganado le dará (61). Una hierba indeseada que invade la pastura, solamente lo hace porque todas las condiciones del suelo la favorecen, y porque la forma de pastar del ganado la beneficia. Una planta puede "surgir" porque hubo una modificación del medio ambiente que pasó inadvertida para el agricultor, y que le posibilitó competir con las que estaban en el lugar (18, 52).

En el suelo agrícola únicamente existe la interrelación suelo-planta; en el pastoril, la interrelación es triangular. La planta no sólo es el producto del suelo, sino también de la influencia del ganado (18, 34, 52) (figura 10-1). El suelo influye sobre la vegetación y ésta, sobre el suelo. El animal que pasta influye sobre la vegetación y el suelo, a la vez que él se forma por el forraje que recibe. La producción animal depende del suelo, así, en los suelos pobres la vegetación será pobre y los animales que de ella se alimenten serán débiles, deficientes, tal vez con pestes, y con un desarrollo y fertilidad reducidas (10).

Dice un adagio: "La raza se hace por la boca" y, de hecho, el ganado es la imagen fiel de la situación del suelo y de la vegetación que éste consigue producir (52, 53). Nadie puede creer que una raza fina alimentada con un mal pasto dé ganancia (38).

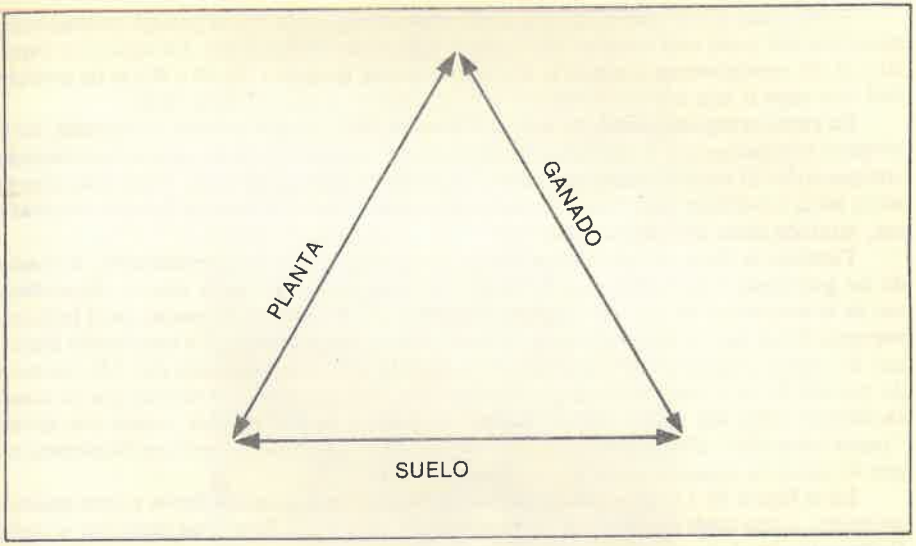


Fig. 10.1 *Interrelación triangular suelo - planta - ganado en su dependencia reciprocíclica. El suelo forma la planta y el ganado, el ganado "forma" la vegetación e influye sobre el suelo. A través del manejo del ganado se influye sobre la vegetación y el suelo.*

El principal problema no es introducir razas más productivas, sino manejar los suelos pastoriles brasileños de tal modo que las razas consigan extraer el máximo provecho (15, 16, 18, 22, 24, 42, 46).

Cómo se presenta el suelo pastoril

Podemos distinguir tres formas de uso pastoril:

1. el campo nativo en pastura permanente o con pastura rotativa,
2. la pradera implantada, es decir, la pastura artificial (2, 41) que:
   a) puede identificarse con el medio ambiente que encuentra, proveyendo un pastaje denso y productivo que, cuando está bien manejado, puede cerrar el suelo. Especialmente cuando se eligen pastos de porte medio no erectos, sino que se pueblan hacia abajo, como el pasto-pangola, el pasto-estrella, el pasto gordura, *Brachiaria* y otros. Pero, aun formada por este tipo de pastos, las praderas pueden no "cerrar" y ser tomadas por invasoras, cuando las forrajeras no se identifican con el suelo, o cuando falta fósforo.
   b) no se puede identificar con el suelo y el medio ambiente que encuentra, por lo tanto, no se desarrolla satisfactoriamente, necesitando mucho fertilizante, herbicidas, limpieza de otros yuyos y manejo que encarece la producción de carne. En especial cuando se trata de pastos de porte alto, como pastos colonial, gran parte del suelo queda desnuda y es invadida por plantas nativas, como por ejemplo, "grama-Mato-Grosso (*Paspalum notatum var. Mato Grosso*), "leiteiras" (*Sapindaceae*), "assa-peixe" (*Composta, generalmente Vernonia spp.*) o "bacuri" (*Platonia insignis*), "Inajá" (*Maximiliana regia*) y otras;
3. la pradera para heno, donde no hay pastaje. También puede ser de granos para granero o silos. En el caso del heno, es una pradera permanente, por lo general para abastecer a ganado lechero en establos; en el segundo caso, es más para forrajicultura.

Se reconoce el uso pastoril por la conformación del suelo. En el pastaje permanente, la superficie del suelo está compactada hasta 3 a 4 cm de profundidad. Le sigue una capa de 20 a 25 cm semigrumosa y, según la textura del suelo, le sigue a 30, 60 u 80 cm de profundidad una capa o laja impermeable que no deja filtrar el agua (figura 10-2).

En *campos segados* donde se recoge el forraje verde para el ganado en establos, no hay ninguna compactación, y muchas veces el suelo permanece tan flojo, que se hace necesario compactarlo. El suelo de *pastura plantada* se presenta igual al agrícola. Tiene una capa grumosa en la superficie y un "pan" o capa compactada inmediatamente debajo. Muchas veces, también tiene una costra superficial.

También la flora pastoril indica el uso. En campos de pastura permanente, la mayoría de las gramíneas son reptantes o decumbentes (que se doblan hacia abajo), dependiendo eso de la intensidad de uso. En pasturas segadas o prácticamente no usadas para pastaje, la mayoría de los pastos son cespitosos, es decir, que crecen en matas. La conclusión lógica es que los pastos cespitosos no soportan el uso muy intenso o permanente (36, 53), necesitando reposo. Si no reciben este reposo, desaparecen. Las gramíneas invasoras que se instalan fácilmente entre los pastos erectos cuando el pastaje es permanente, como por ejemplo "pasto horquilla" *(Paspalum notatum)* en el "pasto colonial" *(Panicum maximum)* son, por lo tanto, la reacción natural y ecológica al uso.

En la figura 10-3 se presenta un suelo pastoril con una dotación densa y permanente de animales, como suele encontrarse en propiedades pequeñas. Esta gran dotación se deduce fácilmente por el espesor de la capa compactada superficial. El subsuelo está suelto (figura 10-3). Si en determinada zona de una pastura nativa de uso permanente el suelo no se encuentra compactado superficialmente, ocurrió porque la dotación de animales fue baja por alguna razón, o esta parte no fue usada por un tiempo prolongado. Frecuentemente es debido a una aguda falta de magnesio, que hace que el pasto sea evitado por los novillos y ter-

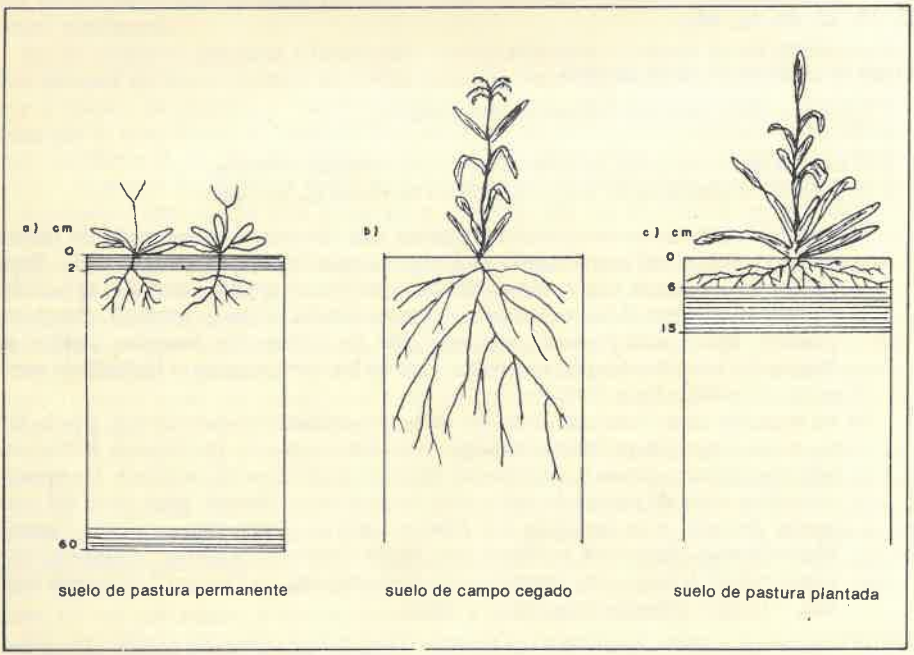


Fig. 10.2 *Por la localización de las capas compactadas se reconoce el suelo pastoril.*

Fig. 10.3 *Suelo pastoril compactado en la superficie por el pisoteo del ganado.*

neros. El ganado adulto no evita estas pasturas, consiguiendo engordar satisfactoriamente (10).

Tanto en uso permanente como en uso rotativo intensivo, se destruyen los grumos superficiales del suelo por el pisoteo, especialmente en épocas húmedas o en períodos secos con poca vegetación. El uso del fuego empeora todavía la situación, aun cuando parece justificado para limpiar la pastura de la vegetación vieja que sobró y así acelerar la nueva brotación (23). Las partículas arcillosas de los grumos superficiales dispersados enturbian el agua que percola el suelo, siendo depositadas entre 60 y hasta 120 cm de profundidad, formando una capa impermeable. En esta capa más compacta se estanca el agua sin filtrarse, manteniendo a las pasturas con una humedad excesiva en épocas de mayores lluvias (18, 19, 36) hecho que se repite tanto en Rio Grande do Sul como en la Amazonia. En cualquier sistema de pastaje, sea permanente o rotativo, la henificación es un método de eliminar la capa dura superficial y de aflojar el suelo (18, 39, 52).

Existe la henificación manual o poco mecanizada, donde el pasto es cortado con una segadora y juntado con rastrillo arrastrado por caballo o tractor cuando ya está seco (figura 10-4) formando montículos o parvas pequeñas. Estas se juntan y forman parvas más altas en el campo, cercadas y cubiertas por plásticos, hasta la época en que sirve de suplemento para el ganado, o es llevada a galpones cubiertos. Es importante que el heno esté bien seco y bien prensado, para que no retenga aire, que posibilita el autoincendio.

La henificación puede ser, también, totalmente mecanizada, dejando la máquina los fardos prensados en el campo, que serán recogidos y amontonados en galpones con tubos de ventilación.

Debe llamarse la atención sobre los siguientes puntos:

Fig. 10.4 *Campo después de la henificación manual o poco mecanizada.*

Fig. 10.5 *La henificación completamente mecanizada. Se están recogiendo los fardos ya prensados por la máquina*

1. la henificación nunca debe ser hecha de pasto maduro y seco, sino siempre de pasto que recientemente haya iniciado su floración. El pasto secado en planta no provee heno, sino paja.
2. cada pastura necesita reposo, que le será concedido retirando los animales temporariamente. Este reposo es natural en las haciendas invernadoras, pero tiene que ser dado en especial en las haciendas de cría. Para no perder el pasto producido durante el reposo, éste debe ser henificado. Constituye así un suplemento valioso en la época de escasez de forraje. Cuando se trata de pasto ("capim") alto, como el "colonial" o el elefante, no se procede a la henificación, sino que se lo guarda en silos que, de todos modos en Brasil, no pasa de ser un "heno marrón" con un valor nutritivo muy bajo (18).

PASTURA ARTIFICIAL

En la pastura implantada o artificial puede ser que la forrajera o las varias forrajeras se hayan identificado con el ambiente. Pero puede ocurrir que la forrajera implantada, impuesta al suelo, esté luchando con toda especie de dificultades. No hay duda de que en muchos estados de Brasil la pastura artificial, en los primeros dos o tres años, da una producción cuatro a ocho veces mayor que la pastura nativa (32); pero esta producción no perdura y la decadencia del suelo de praderas es idéntica a la del suelo agrícola. Una capa compactada se forma entre la raíz y el subsuelo, limitando el desarrollo radicular a la superficie (52) y, cuando ésta se ha agotado o lixiviado, es ocupada por invasoras, y muchas partes del suelo quedan sin vegetación, dando lugar a la erosión (44). Son los famosos "años de hambre" (52) que cada pradera experimenta antes de que las raíces de plantas, ecológicamente adaptadas, consigan romper esta capa, abriendo el camino hacia el subsuelo. La conclusión lógica sería no plantar nunca forrajeras mal adaptadas al suelo (32), porque éstas nunca conseguirán romper la laja o capa compactada y, por lo tanto, siempre necesitarán ayuda mecánica, es decir, escardado, para conservarse en el campo, como muchas veces ocurre con el "pasto colonial".

Fig. 10.6 *Lo que queda de una pastura cuando fue "entregada" al ganado.*

En estas pasturas el ganado también contribuye para su destrucción. En las épocas de crecimiento rápido consigue pastar sólo una parcela, mientras que el resto se torna fibroso y duro. Una vez que se le termina el pasto en esta parcela, el ganado espera, allí mismo, su rebrote, sin prestar atención a la otra parte de pasto, ya alto, que lo rodea. Esta "roída" permanente debilita ese sector de la forrajera de tal modo que desaparece, especialmente cuando la capa compactada interna se asocia a la costra superficial formada por el pisoteo y principalmente por la acción de las lluvias sobre el suelo desnudo (17, 34).

¿De qué sirve plantar los mejores pastos si el sistema es como el antiguo dicho: "El ganado cuida del dueño" en vez del dueño cuidar del ganado? Y como el ganado es irracional no ayuda a conservar, sino a destruir la pastura y el suelo pastoril (figuras 10-6 y 10-7).

En la pradera de heno el suelo está intensamente enraizado. La planta tiene la posibilidad de desarrollar su parte vegetal sin ser pastada. La hoja crecida fotosintetiza más y puede nutrir mejor a la raíz. De modo que la hoja nutre a la raíz, y la raíz, al tener mayor tamaño, nutre mejor a la hoja. El suelo está protegido contra la acción directa de la lluvia y no existe pisoteo animal que lo compacte. Por eso se dice: *El campo segado resiste mejor la sequía.* Es una experiencia que todos pueden hacer. Cuando el campo es segado durante años y no usado de otro modo, la tierra se afloja al extremo de ser necesaria la pasada de un rodillo compresor (18).

IMPLANTACION DE FORRAJERAS

¿Monocultivo o pastura consociada?

La pradera implantada puede obedecer a principios ecológicos (2, 53), si se eligen las forrajeras que mejor se dan en esa región. O también puede obedecer al deseo de poseer "la mejor forrajera" que, normalmente es el pasto colonial, porque tiene la mejor composición en el examen bromatológico (3, 5, 15, 16, 18). La introducción de una forrajera mediante técnicas sofisticadas se parece a la agricultura, y la producción de carne se encarece. Los problemas del monocultivo son conocidos: a veces, mala adaptación al suelo, con una instalación deficiente, decadencia del suelo debido a un débil enraizamiento, y enfermeda-

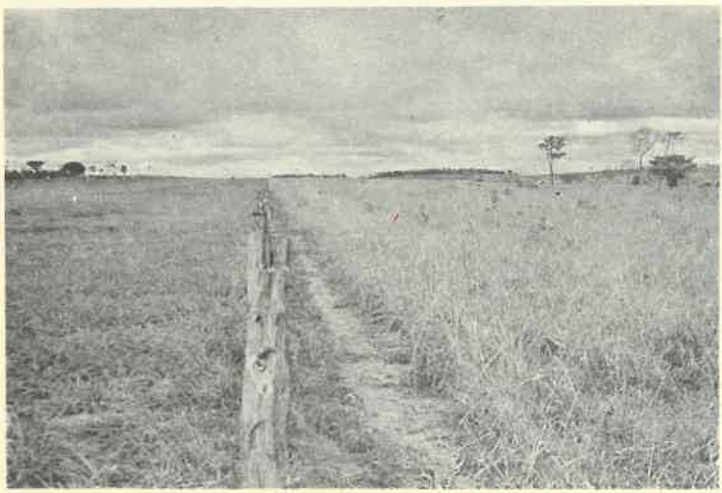


Fig. 10.7 *Pastura que "cierra" bien el suelo y pastura limpia.*

des y plagas devastadoras. Así por ejemplo, la *Brachiaria decumbens* no solamente es atacada por la "cigarrita", sino también por hongos, provocando fotosensibilidad en el ganado. Existen varias "sauvas" (hormigas ya mencionadas en el capítulo 7) especializadas en pangola y colonial. El óxido de hierro, "cigarritas", "curuquerés"* devastan las praderas.

En favor del monocultivo se alega que:

1. el ganado prefiere una forrajera que le parezca más apetitosa, despreciando las otras, de modo que sobran y se tornan fibrosas;
2. es difícil conseguir la consociación de forrajeras, dominando generalmente una, como por ejemplo, la *Brachiaria;*
3. el manejo de una forrajera es más fácil;
4. el pasto colonial es la forrajera que engorda más rápidamente el ganado.

De hecho, entrando en un potrero, el ganado prefiere una forrajera. Pero, mientras está pastando exclusivamente ésta, las otras se tornan fibrosas, de modo que el ganado vuelve a pastar en el rebrote de la forrajera preferida inicialmente. Sin embargo, si existen potreros con diferentes forrajeras en cada uno, se constata el hecho de que el ganado, después de 5 o 6 días se junta cerca de la tranquera, queriendo pasar para otro potrero con otra forrajera, por haberse asqueado de pastar un único pasto.

Se puede comprobar, igualmente, la preferencia del ganado por el pasto, despreciando las leguminosas en la estación de las lluvias. Sin embargo, en la estación de sequía, el ganado come también plantas silvestres y determinadas leguminosas, como el guandú.

Cuadro 10.1 *Composición botánica (%) y disponibilidad de forraje (kg M.S./ha) de pasto natural en el "cerrado"* **(Vilela,** *1977)*

Composición botánica %	*febrero*		*abril*		*junio*		*agosto*		*octubre*		*diciembre*	
	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D
"grama batatais"	25,5	76,5	10,9	40,5	5,3	45,4	3,4	23,7	8,2	74,8	23,3	80,3
"capim gordura"	36,8	14,0	55,4	34,1	42,6	33,3	34,1	28,5	31,8	17,1	41,3	11,9
"cap. jaraguá"	0,1	1,8	2,8	18,8	1,0	7,1	1,9	1,7	0,1	2,3	2,1	1,4
leguminosas	5,3	3,7	1,0	1,2	3,8	0,8	1,0	0,6	0,1	0,3	4,2	2,3
hierbas y arbustos	32,3	4,0	29,9	5,4	47,3	13,4	59,6	45,5	59,8	5,5	29,1	4,1

P = % de la planta en el pastaje D = % de la planta en la dieta del ganado

Se ha comprobado que el ganado prefiere la "grama batatais", independientemente de su cantidad en el pasto. Sin embargo, en los meses de mayor sequía, que son en Brasil agosto y septiembre, recurre a hierbas y arbustos nativos.

Pero la preferencia por una forrajera no indica que sea la única que el ganado come. Siempre come también otras plantas "para variar" y para "abrir el apetito". Se sabe que, alimentándose con un monocultivo de forrajeras el ganado se intoxica más fácilmente (37), por tratar de variar su dieta (25).

El problema de la variación del pasto no es tan importante en el ganado de engorde, pero se agudiza en el ganado de cría (10, 53) y en el ganado lechero. Pero como todo el ganado prefiere el forraje tierno, el manejo correcto del pastaje supera todas las dificultades: se obliga al ganado a comer todas las forrajeras mientras son nuevas, y se lo pasa enseguida a otro potrero.

*Curuqueré: insecto lepidóptero *Alabama argillacea. (N.T.)*

La pastura con policultivo de forrajeras proporciona no solamente una conservación mucho mejor del suelo, sino también un desarrollo mucho más rápido del ganado nuevo (58).

La implantación de policultivos de forrajeras, o sea, de pasturas consociadas de cuatro o más forrajeras, se efectúa mediante el sembrado de un "cocktail" de semillas, y luego por el manejo a conciencia del pastaje. Si el pastaje es permanente, es difícil establecer pasturas mixtas (28).

El manejo de una pastura mixta requiere alguna práctica y mucha observación, ya que depende del ganado la sobrevivencia de las forrajeras. Con un pastaje permanente, desaparecerán las forrajeras preferidas por el ganado (9).

Es importante recordar: *la preferencia del ganado por una forrajera no indica, de ninguna manera, que el ganado desea comerla en exclusividad,* así como la preferencia del brasileño por el arroz con "feijão" no indica que desprecia la carne o las papas fritas.

La diversificación del terreno ofrece condiciones diferentes a las forrajeras (10), de modo que existen lugares donde un pasto brota con todo su vigor, y otros donde falla.

En el policultivo o pastura consociada el espectro de minerales ofrecido al ganado es mucho mayor (17). En cada terreno se instalan las plantas que mejor se adaptan, evitándose así sectores sin vegetación. Se sabe que cada forrajera tiene habilidad de extraer del suelo diferentes cantidades de elementos nutritivos (45).

Cuadro 10.2 *Porcentaje de macronutrientes en el material seco de plantas de 56 días (***Haag,** *1967)*

Pasto	*N*	*P*	*K*	*Ca*	*Mg*	*S*
"colonial"	1,71	0,20	3,33	0,29	0,24	0,09
"gordura"	1,58	0,29	2,13	0,30	0,31	0,12
"jaraguá"	1,24	0,20	1,65	0,87	0,23	0,10
"napier"	1,17	0,24	3,10	0,24	0,09	0,09
"pangola"	1,13	0,22	1,60	0,29	0,14	0,15

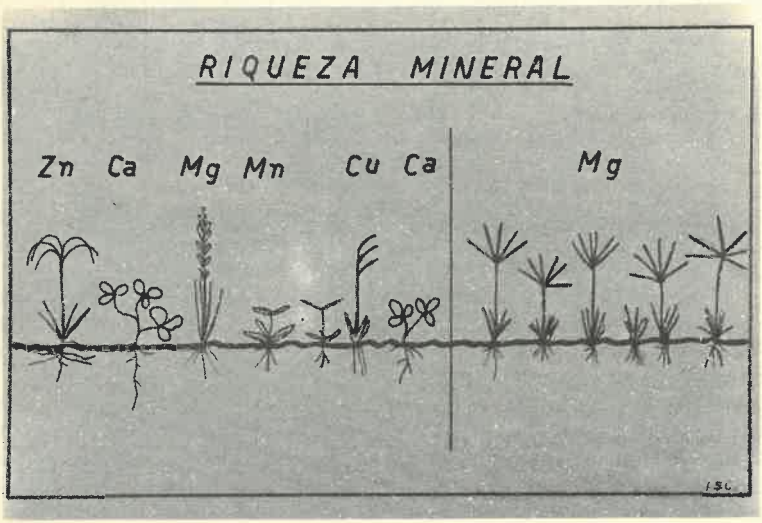


Fig. 10.8 *La riqueza mineral de una pastura depende de la diversificación de su flora forrajera.*

Es fácil imaginar que un animal que puede comer de varios pastos esté mejor nutrido que el que sólo recibe un tipo de alimentación. Según la cantidad de nutrientes absorbidos, producen también sustancias orgánicas, vitaminas, enzimas, hormonas, aminoácidos, grasas y proteínas diferentes.

Sabemos que existen aminoácidos esenciales que el ganado no consigue metabolizar, y que debe recibir por el forraje (13). Faltando uno solo de ellos, el crecimiento del ganado se vuelve muy lento. Y la falta de un aminoácido parece más fácil en un monocultivo de pastura que en una policultura.

Lo que vale para la capacidad de absorción de macronutrientes, vale para los micronutrientes (55, 56, 57). Y el pastaje mixto proporciona un desarrollo más rápido del ganado nuevo y provee becerros más fuertes.

El pastaje mixto debe ser un pastaje bajo, es decir, de plantas de porte bajo. El ganado nuevo y el ganado lechero prefieren las forrajeras bajas (58). Los becerros se pierden en medio del pasto alto y las vacas lecheras hieren sus ubres con facilidad. El pasto alto, como el colonial, no es adecuado para el ganado nuevo, ni es suficiente para su alimentación.

Cuadro 10.3 *Composición química inorgánica de forrajeras, tenor en micronutrientes (***Gallo,** *1974)*

Forrajera	*Micronutrientes mg/kg mat. seca*						
	Fe	*Mn*	*Cu*	*Mo*	*Zn*	*Co*	*B*
"colonial"	124	90	7,3	0,83	20,7	0,06	15
pangola	137	197	6,1	0,17	30,4	0,10	15
elefante	178	179	10,2	0,53	40,1	0,10	25
"batatis"	142	116	7,0	0,63	19,7	0,12	14
gordura	161	123	5,8	0,17	42,0	0,07	16
"jaraguá"	166	273	2,8	0,11	26,6	0,04	18
"setaria"	99	272	5,3	0,28	37,5	0,06	18
"kikujo"	106	137	5,2	0,83	27,8	0,05	23

En el mismo suelo, cada pasto tiene un tenor mineral diferente. Un espectro de nutrientes variado únicamente se obtiene con una variación grande de plantas forrajeras.

En la figura 10-8 se esquematizó el hecho de que la riqueza mineral de una pastura depende de las especies vegetales presentes. Cada variedad y especie vegetal absorbe nutrientes según sus características hereditarias, genéticamente fijadas, oscilando dentro de ciertos límites. Por eso, con una fertilización elevada no se está forzando a una mayor absorción de uno u otro nutriente, y no se enriquece una especie más allá de su nivel característico, sino más bien se la puede hacer desaparecer, cediendo su lugar a otra especie mejor adaptada a la nueva situación (33). Por ejemplo, todos los *Andropogon* son pobres en calcio, y un encalado "correctivo" no los enriquece en este elemento, sino que los hace desaparecer. Para enriquecer un pasto con calcio y fósforo, se implantan leguminosas.

El cuadro anterior muestra que el pasto colonial es rico en molibdeno, mientras que el "capim" o pasto jaraguá es muy pobre en este nutriente, pero rico en calcio, cuyo nivel es bajo en el colonial (cuadro 10-2). Se sugiere, pues, la mezcla de mayor número de forrajeras. En los países pecuarios avanzados se plantan hasta 16 especies diferentes, para garantizar el desarrollo más rápido del ganado joven y la máxima producción del ganado lechero.

En campos nativos (el agricultor denomina "campo" a la pastura nativa y "pastura" [o "pradera"]) a la sembrada de buena calidad, como en los de Poncho Verde, R.S., el ganado se desarrolla rápidamente. Son, por lo tanto, excelentes para la cría. En pasturas sembradas con una única forrajera, el peligro de la deficiencia mineral o de algún aminoácido es grande, perjudicando especialmente al ganado de cría y el ganado lechero. Existen suelos que son demasiado pobres en calcio y magnesio para poder ser usados para cría, aunque para engorde no constituyen un problema, aun con una única forrajera. Así se ha

experimentado muchas veces que el pasto colonial es "milagroso" para engorde, pero resulta muy débil para cría que, como ya dijimos, se desarrolla mucho más rápidamente en pasturas mixtas de porte bajo (58).

La riqueza de la alimentación del ganado depende en parte del suelo, en parte de la riqueza florística y en parte del manejo del pastaje.

En pasturas mixtas, con manejo correcto, el suelo se conservará, la productividad de la pastura será mayor, la dotación de animales puede ser mayor, y la producción de carne por hectárea será mayor.

Se deben aplicar criterios diferentes a las pasturas para engorde y para cría. Pero, en monocultivos de forrajeras, el problema de las invasoras es permanente (48).

LA LIMPIEZA DE LA PASTURA

Las invasoras no preocupan únicamente por ser con frecuencia plantas tóxicas, sino en especial, porque ocupan mucho lugar que podría ser tomado por la forrajera. La aparición de las "invasoras", como se les llama a las plantas ecológicamente adaptadas pero indeseadas, deriva siempre de factores del suelo y del manejo del ganado, que las benefician. Los factores más comunes que permiten la invasión de las plantas nativas son (18, 34, 54):

1. manchas desnudas del suelo que la forrajera, como el pasto colonial, no ocupa. Cada invasora, ya sea que nazca de semilla o de raíces, necesita de sol para nacer. Si el suelo estuviese cubierto por la forrajera, no tendría chance. ¡Pero por otro lado, nadie puede esperar que las manchas de tierra sin vegetación vayan a quedar desnudas por respeto a la forrajera plantada!;
2. las compactaciones del suelo, causadas por el pisoteo del ganado, el impacto de la lluvia en la tierra descubierta y por la labranza (ver capítulo 7). Cuando aparece la guaxuma *(Sida spp)*, también llamada malva, se sabe que el suelo está extremadamente com-

Fig. 10.9 *Pastura invadida por caraguatá* (Eryngium spp), *debido a la acidez y compactación del terreno y a la falta de manejo del ganado.*

pacto, sin que importe el tenor en nutrientes que pueda existir. La guaxuma alta y vigorosa aparece en tierra fértil, y es pequeña y retorcida en los suelos pobres;

3. deficiencia de elementos nutritivos. En especial la falta de fósforo y calcio provoca la aparición de plantas indeseables, que todavía son capaces de retirar estos elementos de sectores del suelo donde la forrajera no consigue hacerlo. Así por ejemplo, la "lengua de vaca" *(Plantago lanceolata)* puede tener hasta 1.500 μg o microgramos de calcio por ml de savia, mientras la avena forrajera no posee más que 50 μg/ml de calcio;
4. el pastaje permanente del ganado. Ya exista infra o sobredotación, el pastaje permanente siempre destruye la pastura, la torna de inferior calidad y llena de plantas indeseadas, debido a la selección negativa del ganado (53). El caraguatá, como cualquier planta dominante, es un ecotipo que indica determinadas condiciones del suelo. Cambiando las condiciones, desaparece. En este caso, el humus ácido y el pisoteo deficiente del ganado, permitieron su proliferación (figura 10-9). Arrancándolo, colocando calcáreo y haciendo que el pisoteo sea intenso durante el período de pastaje, no crece más;
5. el fuego. No existe planta estolonífera que pueda desarrollarse en un campo quemado. La vegetación es seleccionada por el fuego, sobreviviendo las plantas cespitosas que forman matorrales cerrados, protegiendo su punto vegetativo;
6. agua estancada en determinadas épocas del año. Ejemplo es el pasto "caniña" *(Andropogon incanus)*, que invade enormes áreas pastoriles de la frontera de Rio Grande do Sul;
7. el ganado que pasta la forrajera y facilita el avance de la invasora. Como la invasora es el producto de algunos factores favorables del medio ambiente a su desarrollo, lo más simple sería la remoción del o de los factores, para provocar su desaparición (58). Así por ejemplo, el "cola de burro" *(Andropogon schizachyrum y otros)*, únicamente aparece en pasturas con una capa compactada que represa el agua. Sembrándose guandú *(Cajanus indicus)*, éste rompe con sus raíces pivotantes dicha capa, y el "cola de burro" desaparece.

Fig. 10.10 *Después de un encalado y del manejo rotativo, el caraguatá desaparece.*

Es importante comprender que cada invasora es un ecotipo (54), que ha encontrado todas las condiciones de su agrado. Por supuesto, se necesitan semillas o raíces para que aparezcan, pero si las condiciones no les son favorables, estas semillas y raíces no conseguirán brotar y desarrollarse.

En las pasturas, el "ambiente" depende tanto del suelo como del ganado, o sea, de su manejo. Una mancha de suelo desnudo por un pastaje mal conducido, contribuye tanto para la aparición de las invasoras, como la falta de algún nutriente.

El combate con herbicidas es posible, pero no resuelve el caso mientras permanezcan los factores favorables para la invasora.

¡Donde se hace necesaria la limpieza de la pastura por medio del fuego, puede tenerse certeza de que el manejo de la misma está errado!

Aun si el efecto del fuego sobre el suelo pastoril, como en la Amazonia, no empeora las propiedades químicas del suelo (al contrario, puede ser ventajoso (47), las pasturas de pasto colonial muestran una declinación de hasta el 85 % en su producción (47) y su degradación se torna casi irreversible.

Cuadro 10.4 *Alteraciones químicas en un latosol rojizo oscuro de textura mediana, por el desmonte y su uso pastoril con quemas anuales* (**Serrao**, *1972)*

Cobertura	*Arcilla* %	*M.O.* %	*pH*	*Ca*	*Mg*	*Al*	*K*	*P*
				equivalente mg/%			ppm	
floresta	23	1,95	4,3	0,31	0,14	1,09	31	2
floresta quebrada ceniza	11	1,37	5,8	1,70	1,63	0,12	74	8
pasto 1° año	11	0,99	6,8	2,81	0,53	0,15	81	5
pasto 2° año	12	1,07	6,0	1,26	0,60	0,22	57	3
pasto 4° año	12	1,39	6,1	1,98	0,60	0,10	58	4
pasto 5° año	12	0,98	6,4	1,57	0,64	0,10	65	6
pasto 6° año	10	0,98	6,4	2,19	0,59	0,10	69	2
pasto 7° año	11	1,07	6,0	1,37	0,78	0,12	49	3
pasto 8° año	10	1,20	6,7	2,40	0,29	0,00	63	2
pasto 9° año	14	1,30	6,6	1,98	0,42	0,00	58	2
pasto 10° año	10	0,98	6,7	1,54	O,30	0,00	56	3
pasto 11° año	10	1,00	6,4	1,16	0,38	0,00	51	2

Químicamente, el suelo mejoró; físicamente perdió la mitad de su tenor arcilloso de la capa superficial, lo que indica una destrucción de los grumos superficiales y el lavado de la arcilla hacia las zonas de nivel más bajo o hacia adentro del suelo. El resultado es una explosión de invasoras, el aumento de la erosión y la compactación del suelo, lo que baja radicalmente la productividad de esta pastura (47).

El fuego normalmente se usa para limpiar la pastura de la vegetación vieja, estimular el crecimiento ya antes del comienzo de las lluvias, eliminar las invasoras y los parásitos animales (9). Pero las pasturas crían una vegetación propia "del fuego", como por ejemplo, "barba de chivo" *(Aristida pallens)*, pasto "cabeludo" *(Trachypogon spp.)* y otros, como nos muestran las figuras 10-40 y 10-41.

Cualquier pastura en pastaje permanente, extensivo, se torna de inferior calidad y sucia por la selección negativa del ganado y las manchas desnudas en los lugares donde existían las forrajeras preferidas (36, 39, 52). La vegetación alta y grosera es un campo maravilloso para la proliferación de garrapatas, muchos insectos y parásitos intestinales. ¡Cuanto peor está la pastura, tanto más abundan los parásitos! (13, 19, 24, 36). La eliminación de la vegetación grosera, de las invasoras y de los parásitos mediante el fuego, no elimina los errores de manejo que los provocaron, más bien empeora sensiblemente el suelo y la producción pastoril, así como la calidad de la pastura (48).

Por lo tanto, el fuego es el método más barato para limpiar una pastura mal cuidada, pero es también el método más caro cuando se quiere conservar la producción de la pastura. En las pasturas quemadas disminuye gradualmente la dotación animal (24).

Los métodos más adecuados para conseguir pasturas limpias y productivas de buena calidad son: manejo rotativo del ganado, implantación de forrajeras consociadas, fertilización cuando sea necesaria, desmonte con rodillo con cuchillas evitándose la cortadora común, y tal vez, un fuego controlado sólo después de una lluvia: con suelo mojado y en presencia de un viento moderado. El viento hace pasar el fuego rápidamente, y el suelo húmedo evita que se queme toda la vegetación a ras. *El fuego en época seca y sin viento siempre será desastroso.*

El uso de herbicidas para combatir las invasoras arbustivas es lo indicado cuando, al mismo tiempo, se eliminan los factores que provocaron la aparición de estas plantas (40). En caso contrario, solamente "controla" a las invasoras por un tiempo muy limitado.

Una pastura que cubra densamente el suelo siempre estará limpia.

La densidad de la pastura depende:

a) de la fertilidad del suelo (43);
b) del uso de plantas ecológicamente ambientadas, como por ejemplo, *Brachiaria humidicola* en la región amazónica o *Paspalum notatum* en Rio Grande do Sul y Mato Grosso o la pastura arbórea en el nordeste de Brasil (31);
c) del manejo adecuado del pastaje por el ganado (9).

Las plantas introducidas a la fuerza por ser buenas forrajeras nunca cubren el suelo suficientemente, permitiendo la aparición de gran cantidad de invasoras y la instalación de la erosión, como muestra la figura 10-11.

En este caso, la pastura de pasto colonial, aunque está hecha en un terreno recién desmontado, no consigue cerrar el suelo. Hay suelos que permanecen hasta en un 80 % desnudos. No se puede esperar que este suelo quede exento de vegetación: como autodefensa, se cubre con gran cantidad de plantas ecológicamente ambientadas, no siempre deseadas por

Fig. 10.11 *En pasturas de pasto colonial, muchas veces gran parte del terreno permanece sin vegetación.*

el agricultor, que las persigue como "invasoras". Esta es la razón del surgimiento de malvas *(Sida spp.)*, "assa-peixe" *(Vermonia polyanthes)*, "bacurí" *(Plantonia insignia)*, "jurubetes" *(Solanum spp.)*, "gramao" o "gramón" *(Paspalum notatum var.)*, "cola de burro" *(Andropogon spp.)* y otras plantas, que ocurre al haber suelo desnudo y condiciones favorables para su desarrollo (58).

El antiguo método de formación de pasturas, plantando mudas, dejando semillar y quemando la vegetación vieja con fuego controlado, permitía el brote de la "sementera", consiguiendo formar pasturas densas y bien cerradas. La semilla no nace a la sombra de una vegetación alta y gruesa, ni debajo de paja. Un fuego controlado, para dejar crecer la semilla, es benéfico, pero un fuego descontrolado, muchas veces accidental al final de la época de sequía, no contribuye para el nacimiento de las semillas ni para el mejoramiento de la pastura.

No es el fuego lo que es dañino en sí, sino su uso sin criterio en condiciones antiecológicas (7).

Como muestra la figura 10-12, las manchas vacías entre las zonas de pasto colonial son "tomadas" por mudas nuevas que prometen una pastura densa. Una densa vegetación y la eliminación de las condiciones que permiten la proliferación de invasoras, conservan limpia la pastura. Estas condiciones negativas pueden ser: el exceso de nitrógeno por los excrementos animales o por la falta de algún nutriente indispensable para la forrajera plantada. También pueden ser compactaciones que benefician, por ejemplo, a malvas, guaxuma o gramón. Parte de las invasoras son consecuencia del fuego, como la "barba de chivo" *(Aristida pallens)*, que sólo aparece en grandes cantidades en suelos periódicamente quemados, compactados y pobres en calcio, fósforo y potasio. Evitando el fuego y fertilizando, en especial con calcio y fósforo, ella desaparece.

En la figura 10-13 se presenta un suelo (a la izquierda) en que vegeta guaxuma *(Sida spp.)* y pasto colonial (a la derecha). Las mismas fueron sacadas de la misma pastura, una en la mancha exenta de colonial y tomada por la malva, otra, en que el pasto colonial todavía se conservó. Se comprueba fácilmente la razón de la desaparición del pasto: la compactación del suelo.

Fig. 10.12 *Colonial con sementera nacida después de un fuego controlado.*

Fig. 10.13 *El suelo de las manchas con pasto colonial es grumoso, el de las manchas con guaxuma es compactado y muy seco (izquierda).*

La decadencia del pastizal ocurre debido al fuego usado para la limpieza. Sin embargo, cuando es usado un fuego controlado, como muestra la figura 10-14, el suelo no queda desnudo, la paja permanece en él y el rebrote es íntegro, sin fallas.

Como el suelo pastoril es responsable por la vegetación, y ésta por el sustento del ganado, todo lo que beneficia el suelo se refleja en las forrajeras y en el ganado (4, 26, 33, 44, 51).

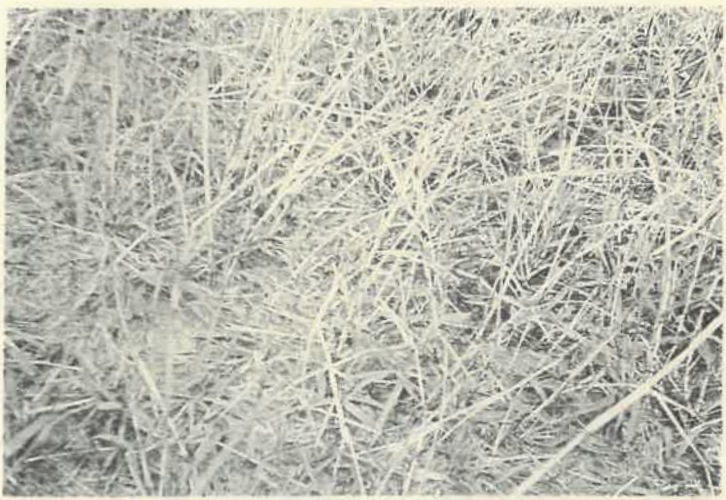


Fig. 10.14 *Efecto de un fuego controlado sobre el suelo y el pasto. La paja en el terreno casi no fue chamuscada.*

En un suelo compactado, el forraje será poco y de calidad inferior, la dotación de animales será baja, el lucro reducido o nulo, pero las enfermedades, muchas (27, 50). El dinero invertido en el suelo y en el forraje traerá su lucro en el ganado, es decir, en los kilogramos de carne obtenidos por hectárea.

EL MANEJO PASTORIL

Manejo pastoril no es sólo el cambio de corrales, ni la fertilización exclusiva, ni las forrajeras nuevas. Manejo pastoril son todos los métodos que, de manera bien planificada y dirigida, consiguen conservar y mejorar la productividad de la pastura (15, 34, 42, 48, 52, 53, 58).

El manejo rotativo racional, o "sistema de Voisin", no implica subdivisiones muy pequeñas ni descanso prolongado o frecuente cambio de corrales. No solamente el uso de las forrajeras debe ser racional, sino todo el manejo en general. Simplemente el sistema es la sobredotación de animales por corto plazo. Se obliga al ganado a comer toda la vegetación de un sector, y se le impide que espere el rebrote de las forrajeras que más le gustan, pasándolo a otro sector. Rebaños con 1.200 a 1.500 animales pueden ser controlados por dos peones con perros amaestrados y enseñados, sin necesidad de cercados (58).

El reposo es indispensable para la conservación de la pastura. En el sistema de engorde el reposo de la pastura era automático después de la "cosecha". En el régimen de cría y recría, el reposo tiene que ser concedido por el hacendado, pues sin ese reposo la forrajera desaparecerá (figura 10-15).

Sin embargo, el reposo no servirá para nada si la forrajera es tan débil y subnutrida que, diez o doce días después de la retirada del ganado, entra en floración. En este caso, dejando la pastura "reposar" 42 días, como es la extraña costumbre de muchos ganaderos, cuando el ganado entre nuevamente encontrará paja seca con las semillas caídas. Lógicamente pasará hambre; por eso, en muchas regiones se dice: "la pastura descansada adelgaza al ganado". Entonces es muy importante la fertilización fosfatada y, muchas veces, cálcica. Usándose un fosfato cálcico como termofosfato o hiperfosfato o alguna escoria, las

Fig. 10.15 *Pastura rotativa y más limpia. A la izquierda, pastoreo permanente; a la derecha, pastura en pastoreo rotativo.*

forrajeras prolongan sustancialmente su ciclo vegetativo, y consiguen aprovechar el reposo para crecer. Con ello desarrollan igualmente sus raíces y logran aprovechar mayor cantidad de minerales del suelo (35, 36), por lo que el ganado engordará.

El sistema de "reposo fijo", estipulado en 42 días, es un absurdo. El reposo se fija por el ciclo vegetativo del forraje. *En el momento en que el forraje inicia su "emborrachamento", es decir, la formación de los pendones de inflorescencia, el aumento de la masa verde se acabó.* El pasto puede aumentar de tamaño por causa del erguimiento de los pendones, pero la cantidad de masa verde no aumenta más. Por lo tanto, nada se gana concediendo un reposo más allá de este punto, a no ser el fortalecimiento de la raíz, que tiene lugar hasta el punto de floración (figura 10-15).

Si el "emborrachamento" ocurre muy temprano, es señal de hambre. La fertilización es una parte integrante de un manejo rotativo con buen suceso y no debe ser calculada únicamente según el análisis de rutina del suelo, sino especialmente según la demostración de hambre del forraje. Eso, porque cada forrajera tiene su capacidad de aprovechamiento del suelo (54).

Cuando la producción pastoril comienza a bajar, no siempre es señal de "hambre". Se puede conocer la razón extrayendo una raíz de forrajera. Si la raíz estuviera bien desarrollada en su forma y es abundante, el desarrollo insuficiente se debe al "hambre" de la forrajera, siendo necesaria una fertilización. Si la raíz fuera muy raquítica o superficial, el desarrollo deficiente de la forrajera se debe a la compactación del suelo, y entonces es necesaria la pasada de una rastra pesada. Es frecuente esta alternativa, especialmente en el pasto colonial y el pangola.

Por lo tanto, es importante definir primero claramente las causas de la baja producción de una pastura, antes de aplicar una técnica a ciegas, y llevarse una sorpresa cuando la reacción no es la que esperamos. En un suelo compactado se aconseja urgentemente la aplicación de materia orgánica, ya que el aflojamiento mecánico no tiene un efecto prolongado. Esta aplicación de materia orgánica se realiza cortando el excedente de la vegetación con un "rolo-faca" o rodillo con cuchillas (figuras 10-16 y 10-17).

El "rolo-faca" o rodillo con cuchillas con láminas rectas sirve solamente para la vege-

Fig. 10.16 *Rodillo con cuchillas con láminas rectas.*

Fig. 10.17 *Trabajo del rodillo con cuchillas en una pastura de pasto colonial.*

tación alta, como el pasto colonial, el pasto elefante, etc. En la figura 10-17 se puede ver el trabajo hecho, cortando el pasto aproximadamente 15 a 20 cm por encima del suelo.

Para los pastos de porte bajo, como el pangola, estrella, *Brachiaria,* etc., el rodillo con cuchillas con láminas colocadas del tipo sacacorchos, es lo más indicado. La limpieza de la pastura con el "rolo-faca" o rodillo con cuchillas, lo hace brotar tan rápidamente como después del fuego, teniendo la ventaja que no le quitó la materia orgánica. La sementera, sin embargo, no brota después del desmonte con el rodillo con cuchillas.

En un suelo inerte la paja cortada no se descompone, sino que permanece intacta en la superficie del suelo. En este caso, la aplicación de un fosfato cálcico "al voleo" ayuda a la descomposición y la incorporación de la materia orgánica al suelo por la mesofauna (ver capítulo 4). Cuando el pasto es estolonífero o decumbente, se puede usar también una desmalezadora a cuchillas, aunque ésta debe estar provista con cuchillas bien afiladas y no usar barras de hierro. El forraje "desgarrado" y aplastado lleva *6 a 8 semanas* para rehacerse, mientras que el forraje cortado rebrota en *4 a 6 días* (34, 36).

En la pastura pastada siempre sobra forraje que tiene que ser arrancado o segado, porque el ganado nunca come la forrajera que no comió la primera vez. Lo que sobró, el ganado no lo toca, aunque le falte forraje para comer. Cuando sobra mucho, es señal de que la dotación es pequeña, y no sirve de nada dejar los animales unos días más en la pastura: comerán el rebrote, pero no el "pasto viejo" (21, 29, 42, 52, 53).

El pastaje rotativo mejora considerablemente la pastura nativa, tornándola mucho más productiva y con vegetación más variada.

En una pastura implantada esto es indispensable, ya que el pastaje extensivo y sin manejo rotativo racional, hace "desaparecer" el lucro debido al mal aprovechamiento de los forrajes producidos y de la proliferación de invasoras (42, 46, 47).

La rotación de pastaje es la medida más eficiente para mantener la pastura productiva, limpia y en condiciones de soportar una dotación grande. No es únicamente la famosa "curva signoide" de **Voisin** (1960) que muestra las diversas etapas de desarrollo de las forrajeras, sino el hecho bien conocido que existe una etapa de desarrollo rápido a la que sigue una de crecimiento muy lento, para finalmente detenerse (33, 34). También el comienzo del crecimiento, inmediatamente después de la brotación, es lento. De modo que,

cuando el ganado pasta permanentemente el rebrote, nunca permite que el forraje desarrolle toda su potencialidad. Cuando el reposo es demasiado largo, también se pierde el potencial productivo del forraje. Pastaje y reposo deben ser calculados según el poder productivo del forraje en las diversas estaciones del año.

Pruebas de corte del pasto tratan de lograr un aprovechamiento mejor del mismo, aunque la época de corte varíe según la especie y no puede uniformarse.

Comprobamos que los cinco pastos reaccionan de manera diferente a los cinco cortes efectuados (figura 10-18). Prácticamente todos los pastos, con excepción del "gambá", disminuyen su producción al finalizar la estación, y dos, el pasto gordura y el jaraguá dan poco en el primer corte, tal vez por ser inadecuado el tratamiento de ellos al final de la época, debilitándose las plantas. Normalmente los primeros tres cortes son los más abundantes. La producción del pasto depende de la época correcta de corte o pastaje, del correcto tiempo de reposo y de la fertilización.

LA FERTILIZACION PASTORIL

La pastura no es un cultivo agrícola y una fertilización debe ser prevista únicamente para mejorar las forrajeras adaptadas al ambiente, es decir, al suelo y al clima, y nunca para poder introducir alguna forrajera exótica. Si una forrajera no se adapta al suelo, la fertilización será antieconómica. La forrajera nunca debe ser fertilizada para crear condiciones que permitan su introducción en un suelo determinado. Ella desaparecerá inmediatamente, o exigirá un trato muy dispendioso. Cuando se hace necesario un encalado para corregir el suelo, y una fertilización completa con macro y micronutrientes, sería mejor elegir una

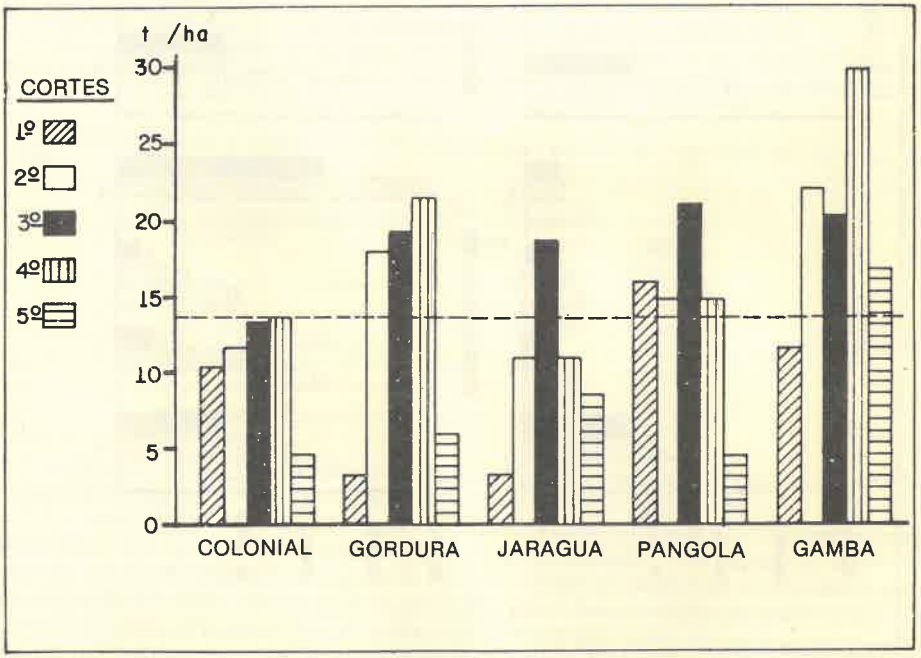


Fig. 10.18 *Influencia de cortes sobre la producción de masa verde de cinco pastos forrajeros. (Fuente:* **Emrich, S. E.,** *1972, II Reun. Bras. Cerrado.)*

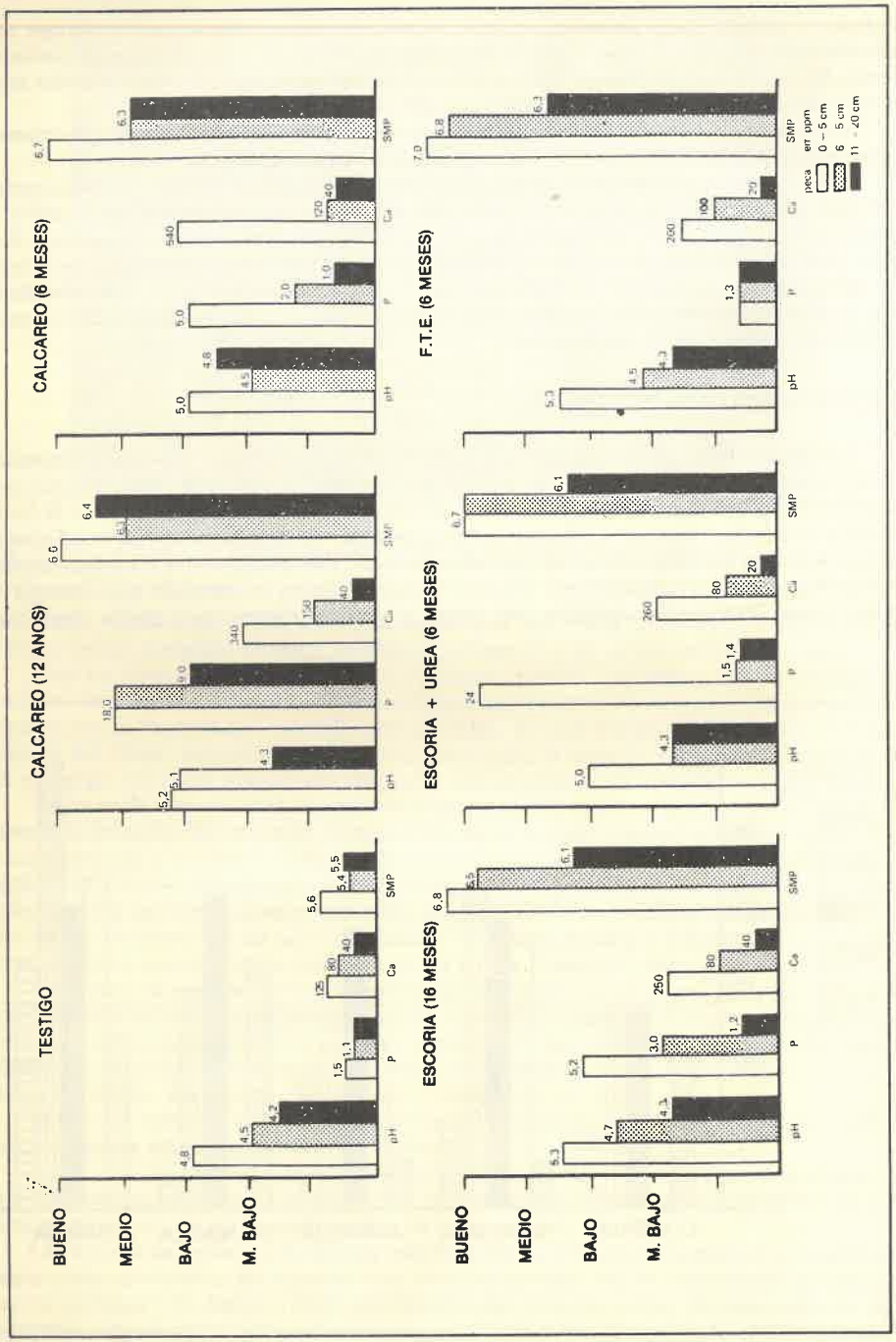


Fig. 10.19 *Penetración de fertilizantes en el suelo de pastura permanente, y su efecto sobre las propiedades químicas* (**Primavesi, 1968**).

forrajera diferente, que sea capaz de producir bien en este suelo, sin corrección y fertilización masiva (30, 33).

Cuando se ha acidificado el suelo pastoril, se puede tener certeza de que el sistema radicular de las forrajeras existentes es débil, explorando sólo la capa superficial. Esto siempre ocurre en pasturas con pastaje permanente o con sobredotación prolongada. El sistema radicular superficial permite la lixiviación de los cationes y el rápido empobrecimiento del suelo. Un manejo rotativo de pastaje y la consociación de forrajeras con sistema radicular vigoroso y profundo, puede evitar la lixiviación, captando los nutrientes acarreados por el agua al subsuelo y recambiándolos nuevamente a la superficie (ver capítulo 3). El guandú *(Cajanus cajanus* y *C. indicus)* es una planta extremadamente eficiente en este sentido.

La aparición de "cola de burro" (*Andropogon bicornos* y otras) es señal de un drenaje deficiente, común en corrales permanentemente pastados, y de una acidificación creciente, provocado por un manejo equivocado. En pasturas permanentes se forman con facilidad capas compactadas en la superficie y a poca profundidad, capas que al ser impermeables, estancan el agua (58). Un encalado puede hacer desaparecer temporariamente el "cola de burro", pero éste reaparecerá mientras no se corrijan las condiciones que lo provocaron, o sea, las lajas o capas impermeables y el agua estancada.

Una agricultura lucrativa es aquella que utiliza técnicas en el lugar y tiempo convenientes, obteniendo el máximo efecto.

Una correcta fertilización no es aquella que corrige alguna deficiencia mostrada en el análisis de rutina o que se hace porque tal vez mejore el forraje. La correcta es la que fertiliza para suplir el "hambre" demostrada por la forrajera. Una fertilización puede mejorar el desarrollo de las forrajeras, pero también puede provocar su desaparición (33, 52). Por eso, muchos ganaderos dicen: "La fertilización baja el rendimiento pastoril". Normalmente la explicación dada es que el fertilizante o abono no penetra en el suelo pastoril. Pero eso no es cierto, según muestra **Primavesi** (1968) en la figura 10-19.

Cuando el fertilizante es aplicado en el momento de la plantación, el efecto es semejante al del cultivo agrícola: depende, de la misma forma, del suelo y de la forrajera.

Cuadro 10.5 *Efecto de la fertilización en tres leguminosas, en suelo de "cerrado" (kg/lot)* **(Gomide,** *1974)*

Tratamiento	*Centrosema*	*Siratro*	*Soja perenne*
testigo	37	33	0
PK y Ca	64	70	14
PK, Ca y micronutrientes	457	170	20

Los micronutrientes usados fueron: FTE BR-10 30 kg/ha

La pregunta es: si fueron necesarios fertilizantes y micronutrientes para la instalación de las forrajeras ¿cuánto tiempo conseguirán mantenerse en la pastura?

La figura 10-19 muestra que el calcio y el fósforo penetran hasta 6 cm de profundidad en un lapso de 6 meses, si el suelo pastoril posee materia orgánica en su superficie. La elevación del pH/SMP mediante la adición de micronutrientes silicatados se explica por la animación de la microvida (ver capítulo 6). En suelos pastoriles quemados periódicamente, sin materia orgánica en la superficie, el fertilizante químico tiene poco efecto, a no ser cuando es hidrosoluble como el superfosfato o hidróxido de calcio. Pero el fertilizante tampoco tiene efecto, o baja el rendimiento, cuando modifica la flora pastoril en lugar de nutrirla (20, 33).

El "hambre" de las forrajeras constata nítidamente cuando acortan su ciclo vegetativo, soltando la inflorescencia más temprano, aun con poca masa verde formada. En este caso, el reposo de la pastura solamente pone el ganado en régimen de hambre (34, 36), porque lo obliga a comer forraje fibroso y sin valor nutritivo, madurado precozmente por falta de nutrientes. La forrajera que soltó la inflorescencia no forma más hojas, por haber concluido la fase vegetativa. Pierde rápidamente su valor nutritivo, formando semilla y secándose. El reposo no consigue mejorar esto, se necesita, antes que nada, una fertilización fosfatada. Y, si en una pastura consociada las leguminosas desaparecen, es generalmente señal de falta de fósforo y potasio.

Todas las pasturas con uso intensivo, es decir, con manejo rotativo racional, tienen un gran gasto de nitrógeno y necesitan una buena consociación con leguminosas o una fertilización nitrogenada (6). *El nitrógeno siempre debe ser aplicado a fines de otoño y no en la primavera y nunca debe ser usado en pasturas con uso extensivo.* Mantiene la pastura verde por más tiempo en invierno y promueve la brotación más temprano en primavera. Sin embargo, nunca se debe usar nitrógeno en áreas mayores que las que se tiene certeza de que pueden ser pastadas al comienzo de la primavera. El exceso de nitrógeno en las pasturas hace que el forraje sea alto y denso, exponiéndolo al ataque de hongos que intoxican a los animales. Por lo tanto, se debe tener la seguridad de poder usar el forraje antes de que crezca muy alto.

Muestra la figura 10-20 que todas las forrajeras responden a la fertilización con NPK en suelos de "cerrado", pero la respuesta no es igual en todos ellos, sino que depende de la especie, de las condiciones físicas del suelo y del manejo del ganado.

Sin embargo, la fertilización difícilmente surte efecto si no hay materia orgánica en la superficie del suelo. El fósforo y el calcio dependen especialmente de eso. En un suelo muy

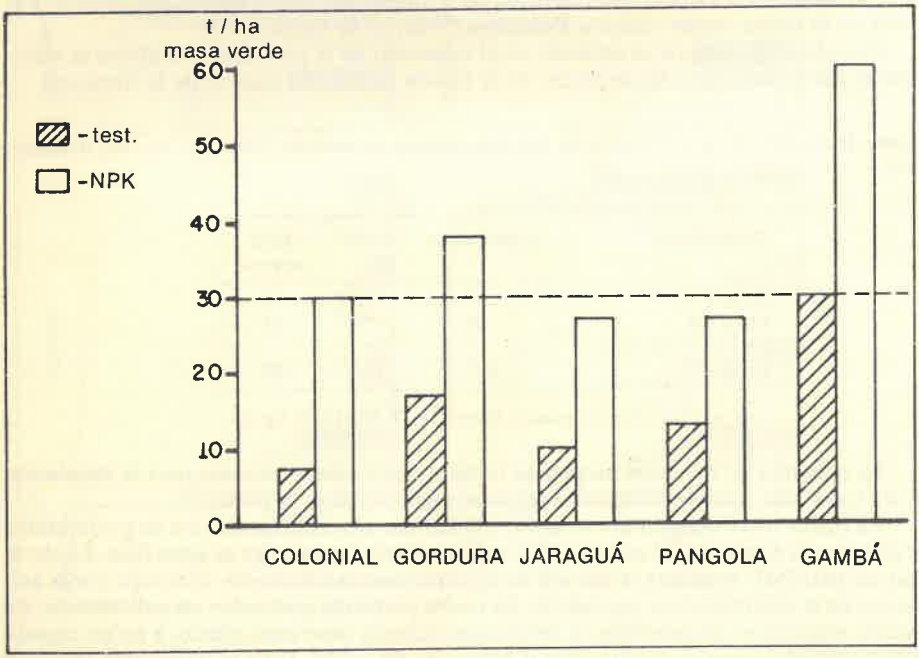


Fig. 10.20 *Producción de masa verde de 5 forrajeras con y sin fertilización comercial (***Emrich,** *1972). (60).*

compacto y quemado es inútil fertilizar. Para que el fertilizante actúe, el suelo debe ser permeable y tener una microvida activa que tiene la función de mezclar el fertilizante con el suelo.

La cantidad de fertilizante empleado siempre debe ser módica y nunca debe sobrepasar las exigencias de las forrajeras existentes. Si pasa las necesidades del forraje existente, provoca su desaparición y la aparición de otras forrajeras que, a pesar de ello, *rara vez encuentran todas sus condiciones vitales,* formando un pasto débil y poco productivo, de modo que muchos dicen: "¡la fertilización baja el rendimiento pastoril!" La depresión más violenta tiene lugar con el uso de nitrógeno en un suelo deficiente en fósforo. Allí podrá hasta eliminar el forraje existente.

Resumen

El suelo pastoril se beneficia con el manejo rotativo del pastaje, especialmente cuando una henificación ha sido intercalada. En caso contrario, el manejo rotativo provoca un sistema radicular muy superficial y torna la pastura susceptible a la sequía.

La mejor pastura es la consociada, que nutre mejor al ganado. Cuando aparecen las invasoras es señal de que el césped no está cerrado, dando espacio a que aparezcan las malezas, y que existe una deficiencia mineral que favorece a la invasora y perjudica a la forrajera. Quien quiere una pastura limpia de invasoras debe cuidar que tenga un pasto bien "cerrado", sin manchas desnudas de suelo.

El reposo de la pastura, en manejo rotativo, únicamente tiene valor cuando las forrajeras están bien nutridas. Cuando sufren de deficiencias, especialmente de fósforo, son incapaces de aprovechar el "reposo" para desarrollarse mejor, solamente madurando y proveyendo un pésimo forraje para el ganado, que continúa delgado.

La fertilización pastoril debe ser módica, debe beneficiar a las forrajeras existentes y nunca debe ser usada para superar errores en el manejo pastoril o compactaciones del suelo. Sin materia orgánica en la superficie, la fertilización fosfatada y cálcica no surte efecto.

El nitrógeno nunca debe ser usado en manejo extensivo ni en primavera. Exige un manejo rotativo bien controlado.

Se previene la acidificación del suelo pastoril mediante la consociación con plantas, o pueden ser árboles, de raíces profundas que evitan la lixiviación, pudiendo recambiar los nutrientes a la superficie.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Agroceres.** - 1973 - Pastagens Consorciadas. *Melhoramentos, São Paulo.*
2. **Araújo, A.** - 1962 - Melhoramento de Pastagens. *Sulina, Porto Alegre.*
3. **ASA,** - 1964 - Forage plant physiology and soil range relationship. *Special public. Wisconsin.*
4. **Corsi, M.** - 1975 - Adubação nitrogenada das pastagens. An. 2º Simp. manejo pastagens. *ESALQ. Piracicaba, p 122-55.*
5. **Davis, W.** - 1953 - Good husbandry and the control of grassland weeds. *Brit Weed Conf. (Margate) p 155-58.*
6. **França, G. E. de,** e **M. M. Carvalho,** de - 1970 - Ensaio exploratório de fertilização de alguns capins tropicais. *B. Industr. anim. SP. 29(1):191-245.*
7. **Franz, H.** - 1968 - Biologia do solo de pastos. *Progr. Biodin. Produt. Solo, IV:423-38.*
8. **Gallo, J. R.; R. Hiroce, D. C. Bataglia, P. R. Furlani** e o. - 1974 - Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo, *B. Industr. anim. SP. 31(1):115-37.*
9. **Garcia, R.** - 1977 - Manejo de campos naturais. *An 4º Simp. Manejo Pastagem, Piracicaba, p 127-41.*
10. **Gavillon, O** e **A. T. Quadros,** - 1970 - Levantamento da Composição Mineral das Pastagens Nativas do Rio Grande do Sul. *Secret. Agric. Porto Alegre.*

11. **Gomide, J. A.** -1976- Adubação de pastagens. *An 3º Simp. Manejo Pastagem. ESALQ, Piracicaba, p 73-97.*
12. **Haag, H. P.; M. L V. Bose** e **R. G. Andrade,** - 1967 - Porcentagem de macronutrientes no material de plantas. *An ESALQ, XXIV:177-88.*
13. **Hammond, J.** - 1966 - Avances en fisiologia zootécnica. *Acribia, Madrid.*
14. **Hughes, H. D.; M. E. Heath** e **D. S. Metcalfe,** - 1966 - Forrajes, *2 ed Continental, Mexico.*
15. **Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas,** - 1970 - Fundamentos de manejo de pastagens. *Secret. Agric. S. Paulo.*
16. **Instituto de Zootecnia,** - 1970 - Fundamentos de manejo de pastagens. *Secret. Agric. S. Paulo.*
17. **Jacques, A. V. A.** - 1976 - Consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras. *An. 3º Simp. Manejo Pastagem, ESALQ, Piracicaba, p 191-217.*
18. **Klapp, E.** - 1962 - Wiesen und Weiden. *Parey, Berlin.*
19. **Knapp, R.** - 1965 - Weidewirtschaft in Trockengebieten. *Univ. Druck. Giessen.*
20. **Künzlen, F.** - 1961 - Düngung und Pflanzenbestand eines langjährigen Wieserversuches. *Phosphors, 21:288-97.*
21. **Klocker-Hornig, A.** - 1965 - Las empastadas permanentes bien manejadas. *Assoc. Amigos de Suelo, Buenos Aires.*
22. **Marques, D. C. da,** - 1969 - Criação de Bovinos, *Edit. pelo autor. Belo Horizonte. (Fac. Vet. UFMG).*
23. **Mattos, A. J. de,** - 1971 - Influência do fogo na vegetação e seu uso no estabelecimento e manejo de pastagens. *Secret. Agric. Bol. téc. 1, SP.*
24. **Molina, J. S.** e **G. A. Lundberg,** - 1960 - Producción de carne y manejo de suelos en la zona oeste de *Buenos Aires. Ciência y Invest.*
25. **Morrison, F. B.** - 1966 - Alimentos e Alimentação dos animais. *USAID, Rio de Janeiro.*
26. **Neptune, A. M. L.** - 1975 - Aplicação de calcário em culturas forrageiras. *An. 2º Simp. Manejo Pastagem, ESALQ, Piracicaba, p 49-86.*
27. **Oberländer-Tibau, A.** - 1975 - Pecuária Intensiva, *Nobel, S. Paulo.*
28. **Otero, R. J.** - 1964 - Algumas informações sobre plantas forrageiras. *Min. Agric. Rio de Janeiro.*
29. **Pereira, C. A.** - 1974 - Normas para manejo de pastagens. *2 ed Secr. Agric. Bol. téc. 81, SP.*
30. **Pfander, W. H.** - 1961 - Soil and lifestock production. *Univ. Missouri, Res. Bull. 765:46-52.*
31. **Pimentel G. R.** - 1973 - Forragens fartas na seca. *2ª ed Nobel, São Paulo.*
32 **Pinheiro, M. D.** e o. - 1975 - Competição de pastagens. *Minter-DNOCS, Fortaleza.*
33. **Primavesi, A. M.** e **O. Primavesi,** - 1968 - Efeito da adubação sobre o solo e a flora pastoril. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta. Maria, IV:475-81.*
34. ----------, - 1969 - A produtividade de pastagens nativas. *Colab. Secret. Agric. P. Alegre; Imprensa Univ. Sta. Maria.*
35. ----------, - 1970 - Influência do sistema Voisin na fauna do solo. Fórum sobre Melhoramento de Pastagens. *Assembléia legis. RGS.*
36. ----------, - 1973 - O pastejo rotativo racional. *Quém é Quem na Agropec. bras. Granja, P. Alegre.*
37. ----------, - 1970 - Plantas tóxicas e intoxicações no gado. *Imprens. Univ. Sta.Maria.*
38. ----------, - 1971 - Pastagens no Território de Roraima e seus problemas. *Relatório, Projeto Rondon.*
39. ----------, - 1976 - O capim colonião para a cria. *A Granja 33/343.*
40. **Quinn, L.** - 1961 - O controle de arbustos nas pastagens do Brasil. *IBEC Res. Inst. Nota Téc. 6.*
41. **Robinson, F.** - 1960 - Leguminosas forajeras. *Buenos Aires.*
42. **Romero, N.** - 1969 - Sistema André Voisin: Experiências no RGS. *Palestra, Assembléia legis. RGS.*
43. **Sartini, H. J.** - 1975 - Estudo comparativo entre quatro espécies de gramíneas de clima tropical, com e sem fertilização nitrogenada, na produção da carne. *Tese, ESALQ, Piracicaba.*
44. **Sauberan. C.** e **J. S. Molina,** - 1968 - Lucha biológica contra el agotiamento y erosion de los suelos en la pradera pampeana. *Progr. Biodin. Produt. Solo, Sta.Maria, III:285-92.*

45. **Schütte, K. H.** - 1964 - The biology of trace elements. *Crosby & Lockwood, London.*
46. **Secretaria de Agricultura de S.Paulo,** - 1974 - Manejo de pastagens. *Instrução prática. (CATI) Nº. 155.*
47. **Serrão, E. A. S.** e **J. C. Falesi.** - 1977 - Pastos do trópico úmido brasileiro. *Ann 4º Simp. Manejo Pastagem, ESALQ, Piracicaba, p 177-243.*
48. **Souza, R. M. de,** - 1977 - Manejo de pastagens em região montanhosa. *An. 4º Simp. Manejo Pastagem, ESALQ Piracicaba, p 143-59.*
50. **Tolgyesi, G.** - 1964 - Applicability of newest knowledge on micro element content of plants in different fields of agricultural use. *Acta Agron. Acad. Scient. Hung. XIII (3): 287-301.*
51. **Vetter, E.** - 1974 - Pecuária rio-grandense: bovinos de corte. *Separata.*
52. **Voisin, A.** - 1960 - Dynamique des herbages. *Maison Rustique, Paris.*
53. ----------, - 1963 - Die Produktivität der Weide. *Bayr. Landw. Vlg. München.*
54. **Weaver, J. E.** e **F. E. Clements,** - 1950 - Ecologia Vegetal. *Buenos Aires.*
55. **Werner, J. C.** e **H. P Haag,** - 1972 - Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. *B. Industr. animal, SP. 29(1):191-245.*
56. ---------- e **H. B. Mattos,** - 1974 - Ensaio de fertilização com alguns micronutrientes. *B. Industr. anim. 31(2):313-24.*
57. ---------- e ----------, - 1975 - Ensaios de fertilização com quatro micronutrientes em Centrosema pubescens Benth. *B. Industr. anim. jan./jun. p 123-35.*
58. **Primavesi A. M.** - 1977 - Pastagens: manejo inadequado a causa da decadência. *A Granja, Quem é Quem na agropec. bras. p 48-57.*
59. **Vilela, H.** - 1977 - Manejo de pastagem no cerrado. *An 4º Simp. Manejo Pastagem, ESALQ, Piracicaba, p 248-305.*
60. **Emrich, E. S.** - 1972 - Competição entre cinco gramíneas forrageiras para a formação de pastagens em solo de cerrado. *II Reun. bras. cerrados, p 209-221, Sete Lagoas, MG.*
61. **Peterson, R. A.** - 1970 - Fundamentos de manejo de pastagens. *Secret. Agric. São Paulo.*

MANEJO DE LOS SUELOS DE "CERRADO"

El "cerrado" ocupa aproximadamente un cuarto de la superficie brasileña. Generalmente se sitúa en regiones de topografía favorable a la agricultura y a la pecuaria. Los "polocentros" del cerrado, instalados para la recuperación de estas vastas áreas, cubiertas de una vegetación raquítica, retorcida y con xeromorfismo pronunciado, llamaron la atención de muchos para solucionar los problemas de estas tierras, hasta el momento con bajísima productividad (figura 10-21).

En la exploración pecuaria común en la mayoría de los cerrados se consigue mantener un animal por cada 6 a 10 ha de suelo. El fuego es una constante para la limpieza de las pasturas que, en gran parte, son groseras. Por eso algunos llaman a los "cerrados" "sabanas", debido a su semejanza con las sabanas africanas.

Todos saben que los "cerrados" no son idénticos, a pesar de su clasificación sumaria en "campo sucio", "campo cerrado", "cerrado" y "cerradón". Sin embargo, esta clasificación sólo se refiere a la densidad y a la altura de la vegetación.

También existe una clasificación de los suelos que esclarece menos todavía, ya que existe una variedad tan grande de tipos, desde los litosoles y regosoles hasta toda la gama de latosoles y de diversos podsoles, y hasta los suelos gleizados en las partes de las bajadas (15, 33). No existe el suelo del "cerrado". Normalmente los espigones son más arenosos, cubiertos de una arena gruesa que el agua no consigue arrastrar. En Minas Gerais los "cerrados" son, en gran parte, más arcillosos, y los de Mato Grosso y Goiás son más arenosos.

Fig. 10.21 *Arbol típico del "cerrado".*

Pero a pesar del aspecto típico de la vegetación, relativo al xeromorfismo, no tiene nada típicamente de "cerrado", ya que reúne tanto plantas de la hileia amazónica como de los bosques atlánticos, mesófilas y hasta de campo limpio. Es prácticamente imposible hablar de una flora del "cerrado" si no fuese su aspecto xeromorfo (36), que sugiere una apariencia generalizada. Pero, el xeromorfismo, la ostentación de señales típicas a las plantas de regiones secas, no corresponde al xerofitismo, es decir, un comportamiento adecuado a condiciones secas. Al contrario, aun árboles con cáscara suberosa y hojas coriáceas, muchas veces también deformadas, tienen transpiración continua durante el calor del día (11).

Algunos tratan de explicar este fenómeno diciendo que tienen raíces profundas, lo que no siempre es correcto para la vegetación arbórea, ya que muchos árboles del "cerrado", así como de la hileia amazónica se caracterizan por sus raíces superficiales, pudiendo por esta razón ser fácilmente derrumbados por un tractor; y hay muchos "cerrados" limpios por el "correntón", lo que nunca podría ser hecho si los árboles tuviesen raíces profundas.

Algunos quieren responsabilizar al clima por la formación de los "cerrados", pero el paso del "cerrado" hacia el matorral seco o hacia el matorral normal es abrupto, sin transición alguna (4, 12), de modo que el factor clima no puede ser considerado. Aparte de eso, las precipitaciones oscilan entre 1.100 y 1.800 mm anuales, lo que es suficiente para una selva.

En esta hacienda, parte del terreno todavía está cubierta por "cerradón". La distribución de las lluvias, siendo irregular, podrá causar problemas en la agricultura, pero nunca podrá provocar el xeromorfismo de la vegetación.

Varios autores atribuyen la vegetación del "cerrado" al oligotrofismo, es decir, a la deficiencia de nutrientes minerales (16, 34, 35). El pueblo reconoce los suelos más pobres por la aparición de "tucum" *(Bactris setosa)*, y los mejores, por la invasión de bacuri *(Plantonia insignia)*, ambas palmeras de porte relativamente bajo. Existe, pues, diferencia en la riqueza mineral de los suelos, que también aparece en los análisis. La escasez de cal-

Fig. 10.22 *"Cerradón", floresta de transición.*

cio, fósforo, azufre y nitrógeno, junto a cinc, boro y cobre, tanto como molibdeno y cobalto, es generalizada. En diversas zonas de Minas Gerais también falta el potasio. Como consecuencia de la pobreza de los suelos, el pH generalmente es muy bajo y puede ser que haya toxicidad de aluminio, aunque existan vastas áreas del "cerrado" donde no hay aluminio intercambiable o donde no sobrepasa 1,0 me%, como ocurre en Goiás y Mato Grosso.

Aparte de eso, la vegetación del "cerrado" está adaptada a los suelos ácidos y muchas veces acumula aluminio (16). Y la pobreza de los suelos no es privativa del "cerrado", al contrario, la selva amazónica muchas veces vegeta en un suelo más pobre que los del "cerrado" y con aluminio intercambiable más elevado.

Fig. 10.23 *"Campo cerrado".*

Fig. 10.24 *"Campo sucio".*

Cuadro 10.6 *Precipitaciones anuales en la hacienda Lajeado, Mato Grosso (Municipio de Anastácio). (Fuente: Archivo de la hacienda)*

año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1972	110	229	98	90	80	19	42	132	105	138	263	149	1.455
1973	195	151	74	51	140	82	33	13	23	400	465	168	1.795
1974	225	100	115	71	90	145	17	10	49	155	156	286	1.449
1975	83	183	54	123	0	21	70	0	7	150	251	141	1.083

En ambos, el complejo de cambio (extracción rutinaria a un pH 7,0), oscila entre 2,5 y 8,5 me%, siendo, por lo tanto, extremadamente bajo, y con extracción en un pH natural (4,5), generalmente no sobrepasa 1,0 me%. Hay excepciones, que son las manchas de "Terra Roxa" legítima o estructurada, los Brunizen y los grumosoles, donde existe un tenor mayor de cationes y por lo general, también de fósforo, y donde el complejo de cambio

Cuadro 10.7 *Análisis de los suelos*

	"Cerrado" Mato Grosso		*Selva (Mata Geral) (Pará)*	
	análisis aislado	promedio general	análisis aislado	promedio general
pH	4,8	4,3 - 5,5	4,4	4,0 - 5,3
Al en mg%	0,2	0,2 - 4,5	1,0	0,1 - 9,5
Ca en mg%	1,5	1,0 - 2,0	0,5	0,08 - 2,0
Mg en mg%	0,3	0,2 - 0,3	0,2	0,08 - 0,4
K en mg%	0,1	0,04 - 0,1	0,1	0,03 - 0,2
M.O. %	2,35	1,20 - 2,50	1,80	0,50 - 2,30
P ppm	12,0	6,0 - 12,0	4,3	1,0 - 6,0

Fig. 10.25 *"Cupinzeiro" con "chimeneas" de aireación, indicando un nivel freático alto.*

oscila entre 17 y 47 me% (10). Estas manchas de tierra mejor en Amazonas, por lo común, ya no poseen más la selva frondosa de la hileia, por haber sufrido un uso destructivo.

Tanto el "cerrado" como la "Mata Geral" (selva), acusan una pobreza mineral acentuada. En gran parte se sitúan sobre suelos arenosos; en ambos existen áreas considerables de árboles con sistema radicular localizado hasta aproximadamente 50 cm de profundidad. En algunos "cerrados", especialmente los de Minas Gerais, el nivel freático es muy profundo, situándose alrededor de 20 a 25 m de profundidad. Pero en la mayoría de los "cerrados" de Mato Grosso y Goiás se encuentra agua entre 4 y 6 m de profundidad, lo que se ve-

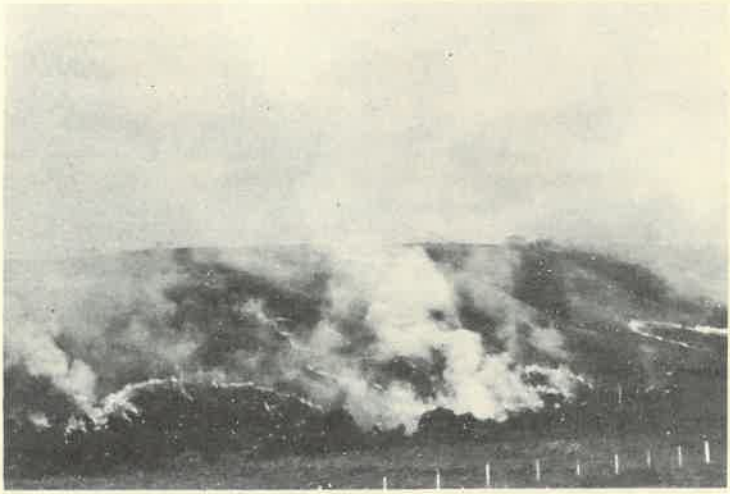


Fig. 10.26 *El fuego descontrolado que quema los cerrados anualmente.*

rifica fácilmente por la manera con que las termitas construyen sus montículos: cuando tienen "chimeneas" para su aireación, el agua subterránea está próxima, pudiendo elevarse hasta la superficie en la estación de lluvias. En la "Selva Geral", donde no existe el peligro de fuego, las termitas construyen sus casas ("cupinas") en los árboles, porque el suelo sufre de hidromorfismo periódico (figura 10-25).

Según muchos indicios, el "cerrado" no existía cuando Brasil fue descubierto. Por lo menos, no lo menciona ningún historiador.

Y el más famoso especialista en el "sertón" brasileño, Villas Boas, dijo: "en muchas aldeas indígenas vi la selva transformarse en "cerrado", cuando estas tribus fueron obligadas a una vida sedentaria".

LAS TRES CONSTANTES DEL "CERRADO"

1. El fuego

Hay regiones donde, desde hace siglos, se quema hasta cuatro veces por año. Existen plantas como el pasto-flecha *(Trystachia chrysothrix)*, que se defienden contra las quemas y el ganado, endureciéndose 3 a 4 semanas después de la brotación, pero secándose sólo al concluir el segundo año de vegetación, impidiendo así su quema frecuente y permitiendo una dotación de ganado extremadamente baja, que oscila alrededor de un animal cada 10 ha.

Cuando el "cerrado" está protegido contra el fuego, el pasto flecha cede su lugar al jaraguá *(Hyparrhenia rufa)*, o a los pastos de lugares secos, como el pasto-gordura *(Melinis minutiflora)*, haciéndose la vegetación del "cerrado" más densa y los árboles mayores (12).

Cuando se vuela de Campo Grande (Mato Grosso) hacia el interior del Estado, se puede observar claramente el cambio de la vegetación de "campo sucio" a "campo cerrado", con la vegetación adensándose y elevándose a medida que el avión se aleja de la ciudad, volviéndose finalmente "cerrado" y "cerradón", cuya altura oscila entre 12 y 18 metros (11). Esos cinturones indican claramente la actividad humana. Todos los hacende-

Fig. 10.27 *Rebrote de pasto después de la quema.*

Fig. 10.28 *El viento permanente está indicado por la forma de las palmeras.*

ros goianos saben que el "cerradón", por donde el fuego pasa anualmente, se trasforma en un cañaveral o "tacuaral". Donde crece la tacuara, la tierra es más productiva, por ser mejor enraizada y bien grumosa, gracias al sistema radicular de esta Bambusa. El pasto que se instale aquí producirá bien en los primeros años. Pero, donde perdure el uso del fuego, se perderá la productividad de las pasturas (figura 10-27).

La vegetación herbácea se torna muy rala, apareciendo invasoras leñosas y muchas veces espinosas, y desapareciendo las forrajeras implantadas. Se forma lo que se llama "campo sucio".

2. El viento

Una brisa constante lleva la humedad, aumentando así la transpiración de las plantas (17) que, aun en el momento de más calor del día, permanece prácticamente idéntica, lo que se atribuye a la lentitud del cerramiento de los estomas (12), lo que tal vez sea el resultado de la deficiencia aguda de micronutrientes y de potasio. La existencia de un elemento en el suelo no indica necesariamente que éste sea absorbido, pudiendo faltar en la planta. Fertilizándose las plantas del "cerrado" con micronutrientes, las hojas pierden su forma deformada, se tornan menos coriáceas y los árboles crecen más erectos (32).

La deficiencia de agua en el suelo es pronunciada, con las raíces superficiales secando la capa superior y transpirando el agua en seguida. El viento incrementa la transpiración porque remueve la humedad del aire. Además de ello, los suelos compactados pierden más agua (42). Los corta-vientos conseguirían economizar agua disminuyendo los efectos de la distribución irregular de las lluvias. En Hawai, los corta-vientos consiguieron economizar hasta 750 mm de agua, simplemente por evitar que el viento se "lleve" la humedad (7, 21).

En las regiones agrícolas, los corta-vientos aumentan la producción porque actúan como "moderadores" sobre las oscilaciones pluviométricas. Conservando más humedad, se superan más fácilmente las épocas de sequía. La economía de agua gana en importancia cuando conocemos la dificultad de la instalación de una irrigación, que depende especialmente de la abundancia de agua y mano de obra, cosas raras en el "cerrado" (27). La deficiencia de agua en el suelo es tanto más pronunciada cuanto más rasa es la capa explorada por las raíces, cuanto peor es el drenaje del agua hacia el subsuelo y cuanto menor sea su capacidad de retención. Estos tres factores dependen de la materia orgánica. La capacidad

de retención hídrica de un suelo arenoso, hasta la capacidad de 40 cm, está alrededor de 31,1 mm (26), pero aumenta considerablemente si el suelo tiene un tenor mayor en materia orgánica (31, 40). En suelos arenosos, con bajísimo tenor en materia orgánica, el agua de lluvia no consigue ser drenada hacia el subsuelo debido a los poros pequeños (24). Actúa la "tensión de los meniscos", provocando un movimiento lateral del agua en la capa superficial, que se pierde rápidamente por evaporación directa del suelo (23), que da la impresión de gran permeabilidad. El problema de los suelos del "cerrado" no es su "gran permeabilidad", como algunos creen, pero que la práctica desmiente.

En la mayoría de las áreas se remueven enormes terrones a la superficie durante la arada, y casi en todos los "cerrados" la subsolación se está volviendo una práctica corriente (figura 10-29). En muchas regiones son raros los cursos de agua dificultando la pecuaria, consecuencia del defluvio del agua pluvial que se escurre sin penetrar en el suelo (16). Y, cuando penetra, inmediatamente es impedida de infiltrarse hacia mayores profundidades debido a las capas compactadas que están abajo de la superficie. Este escurrimiento se debe a una capa compactada en poca profundidad, o mejor, que alcanza una profundidad de 35 a 45 cm. Así, el flujo del río Torto, en el Distrito Federal, disminuye drásticamente a partir de abril, cuando las lluvias disminuyen. Y aquí llegamos a la tercera constante:

3. La capa compactada inmediatamente debajo de la superficie

Esta capa tiene una permeabilidad y una capacidad de retención de agua reducidas (19). El "cerradón" y los "tacuarales" son excepciones. Es por eso que se dice en los "cerrados": "donde crece tacuara *(Bambusa trinii)* el suelo produce mejor".

Comparando las figuras 10-29 y 10-30 se comprueba la diferencia. Mientras que en el "cerrado" ("campo sucio", "campo cerrado" y "cerrado") el suelo cae en terrones grandes cuando se lo labra (figura 10-29), el del tacuaral se deshace con facilidad en grumos y se presenta bien estructurado (figura 10-30). El suelo del tacuaral no es químicamente más rico, al contrario, tiene mayor tenor en aluminio intercambiable, pero su estructura grumosa, debido a la intensa actividad de las raíces de la tacuara, le otorga una productividad superior al suelo común del "cerrado".

Todos saben que la fertilidad del suelo del "cerrado" reside en la capa delgada de la

Fig. 10.29 *Una capa compactada por la lluvia y el ganado cae en grandes terrones cuando es arada.*

superficie. Cuando ésta es raspada y levantada (figura 10-31), ni las semillas plantadas con fertilizante consiguen nacer. Pero si esta capa se la deja, la primera cosecha es razonable, siempre que hayan sido usadas las técnicas de encalado y fertilización, y la segunda cosecha puede ser aún mayor, si se garantiza el retorno de la materia orgánica producida.

Debido a la capa compactada que está inmediatamente debajo de los suelos del "cerrado", existe la costumbre de ararlo más profundamente posible, en la tentativa de eliminarla. Sin embargo, la arada profunda no solamente distribuye la poca materia orgánica (generalmente alrededor de 1,8 a 2,0 %, restringida entre los 2 a 5 cm superficiales) en una capa de 35 a 40 cm, disminuyendo así el tenor en el suelo a 0,2 o 0,3 %, que son absolutamente insuficientes; revuelve también el subsuelo "muerto" o "frío", como lo llama el campesino, a la superficie. De esta manera elimina cualquier posibilidad de que los grumos del suelo resistan el impacto de la lluvia (2)

La siguiente lluvia encostra la superficie, reiniciando nuevamente el proceso de compactación que se pretendía interrumpir y mejorar.

Cualquier agricultor sabe que, removiendo la capa superficial del suelo, ya sea durante la limpieza del "cerrado" (figura 10-31), ya sea en la construcción de terrazas, el subsuelo expuesto no produce, aun con corrección y fertilización, y muchas veces las semillas ni siquiera nacen.

Debido a las condiciones anaerobias del suelo compactado, en que faltan los poros de

Fig. 10.30 *Un suelo recién desmontado de tacuara se presenta grumoso y suelto, con óptima estructura y productividad. No hay terrones ni capas compactadas.*

ventilación, el cultivo pionero en los "cerrados", generalmente, es el arroz porque tiene un sistema de aireación radicular a través del aerénquima foliar (20).

Pero, de la misma manera que el subsuelo expuesto no produce, el subsuelo removido a la superficie por la arada, tampoco produce.

El problema del suelo del "cerrado" está en los primeros 40 cm, como muestra el cuadro siguiente, aunque la diferencia con los otros suelos de São Paulo no sea grande.

Cuadro 10.8 *Valores medios de capacidad de campo, humedad de marchitamiento y disponibilidad máxima de agua, expresados en mm de lluvia, en suelos bajo "cerrado"* (**Medina**, *1966)*

Suelos	*Profundidad* cm	*Máxima capac. de campo*	*Unidad de marchitamiento*	*Disponibilidad máxima de agua*
arenosos	0-40	54,5	23,0	31,5
	40-80	107,5	47,5	60,0
	80-120	166,5	72,0	94,5
arcillosos	0-40	127,6	91,6	36,0
	40-80	251,0	177,6	78,4
	80-120	364,0	257,6	106,4
barrosos	0-40	103,0	44,5	48,5
	40-80	200,5	94,5	106,0
	80-120	306,5	149,0	157,0

Es de conocimiento general que los suelos compactados producen mucho menos que los suelos grumosos (16, 38, 41). Las plantas difícilmente consiguen enraizar el suelo compactado, deficiente en oxígeno, presentando raíces raquíticas, retorcidas, mal desarrolladas, explorando un espacio mínimo. Cuanto menor es el espacio explorado por la raíz, tanto menor es la cantidad de agua y nutrientes a disposición de la planta, ya que medio metro cúbico de tierra contiene menos agua y nutrientes que cuatro o cinco metros cúbicos, *potencializando el oligotrofismo* existente (37, 41, 43). Por lo tanto, tienen razón los que culpan al oligotrofismo por la vegetación raquítica de los "cerrados". Pero también tienen razón los que culpan al fuego, cuyas consecuencias aumentan el efecto del suelo pobre, como fue tratado en los capítulos 7 y 9.

La formación del "cerrado" no se origina por el fuego, pero sí por las consecuencias del fuego, como son: el no retorno de la materia orgánica, la exposición del suelo desnudo al impacto de la lluvia, la destrucción de la estructura activa en la superficie del suelo y la formación de capas compactadas en poca profundidad, que consiguen conferir a toda el área un comportamiento y aspecto comunes (22), independientemente de los tipos de suelo, y poco influenciado por el clima.

Con la mecanización y corrección de los suelos se consigue hacer producir estas áreas.

Utilización del encalado. Donde hay aluminio de cambio, se multiplica éste por 1,5, 2 o 3 según la estructura del suelo y el efecto decreciente del calcáreo. Son aconsejables 1,5 a 3,8 t/ha de calcáreo. Se usan parcialmente 10 a 20 t/ha de calcáreo (aunque en muchos casos estas cantidades bajaron el rendimiento, ya que la mayoría de los suelos no tiene una CTC para poder almacenar cantidades mayores de cationes (Ca^{++}) (39).

Así, 2,1 t/ha de calcáreo aumentaron el rendimiento de:

sorgo en 140 %
maíz en 15 a 40 %
soja en 7 a 15 % (39)

El mejoramiento químico de los suelos del "cerrado" ya produce un aumento de la cosecha, aunque muchas veces éste es poco económico.

Cuadro 10.9 *Prueba de soja en suelos del "cerrado" mejorados químicamente* **(Información Agropecuaria 27/33 en pruebas de EPAMIG, ESAL, UFMG y UFV,** *1978)*

Año agric.	*pH* agua	*Al* e. mg%	*Ca + Mg* e. mg %	*K* ppm	*P* ppm	*Rendimiento* kg/ha ensayo	kg/ha agricult.
1974/75	4,36	0,75	0,75	39	3	2.412	1.200
1976/76	5,15	0,10	3,20	28	6	2.526	1.900
1976/77	5,70	0,00	3,30	50	10	2.624	1.182*

* Siembra fuera de época

Se puede comprobar que el rendimiento no acompaña el "mejoramiento" del suelo. Parece evidente que la simple mecanización, encalado y fertilización de los "cerrados" no consigue remover los factores que provocaron la vegetación raquítica. La recuperación no puede ser solamente química, también debe ser biofísica, ya que el estado biofísico puede ser considerado la causa predominante de los "cerrados".

RECUPERACION DE LOS "CERRADOS"

Se exige imperiosamente:

1. la cesación inmediata de las quemas incontroladas al final de la sequía, desterrando el fuego definitivamente de estas zonas. En pasturas o praderas todavía sin un manejo adecuado del pastaje, el fuego es una de las maneras de eliminar la vegetación vieja y seca. El rodillo con cuchillas es mucho más indicado. Pero si se usa fuego, debe ser controladamente. Este exige que una lluvia suficientemente abundante haya mojado el piso (suelo) y que el viento haya secado la paja del pasto muerto. Durante la quema debe soplar algo de viento para forzar la pasada del fuego, evitando que llegue a quemar la tierra. Así quema sólo la paja en pie, permaneciendo la paja que cubre el terreno (3). Sin embargo, la quema siempre debe constituir una medida de excepción y nunca de rutina, ya que su efecto negativo reside justamente en no retorno de la materia orgánica (figura 10-14). El fuego descontrolado, en especial durante la estación de la sequía, con el intento de provocar la brotación precoz de las pasturas, es sumamente desastroso y es la causa primera de la aparición del "cerrado". Mientras esta práctica persista, nadie podrá esperar ganancias del "cerrado".

2. El desmonte y la limpieza del "cerrado" deben ser hechos con "correntón" o lámina dentada, para no dañar la delgada capa superficial del suelo, en la que reside la productividad. La remoción de esta capa y su mezcla con la madera y las raíces, no permiten siquiera que nazcan las semillas en esta área raspada. En la figura 10-31 se muestra un "cerrado" limpio por correntón, se mezcló sólo la madera y las raíces.

Idéntico problema encontramos en la Amazonia, donde la capa fértil fue raspada, las plantas no nacieron y, cuando fueron plantadas en terrón, como por ejemplo la *Gmelina*, no se desarrollaron.

No es raro ver pasto nacido únicamente en las fajas de las hileras donde se acumuló el material desmontado, ya que el área limpia está prácticamente exenta de toda vegetación. Pero, como seguramente el campo fue fertilizado, este hecho no puede ser atribuido a la pobreza del suelo en nutrientes o al exceso de aluminio, sino a la remoción de la capa "viva" de la "gordura de la tierra".

3. La arada nunca debe ser hecha para eliminar la capa compactada. Sólo debe servir para preparar el "lecho" de la semilla y para eso, muchas veces, una rastra sirve más. Se subsola el campo hasta 30 cm de profundidad, y si la capa compactada es mayor, hasta 40 cm, debe usarse un subsolador o "pie de pato". La subsolación debe ser hecha mientras el campo está seco, es decir, durante la sequía o después de una lluvia débil, y nunca debe ser hecha en campo húmedo o lo suficientemente mojado que fuera bueno para arada. Se debe

Fig. 10.31 *Tierra de "cerrado" desmontada y preparada para la plantación.*

quebrar la capa compactada, lo que no ocurre en un suelo húmedo. Antes del subsolador se debe pasar una rastra para enterrar superficialmente la materia orgánica.

El suelo del "cerradón" o de un tacuaral es bien enraizado y grumoso, como muestra la figura 10-32. Después de 3 años de cultivo de caña de azúcar, la estructura grumosa se perdió (terrón del medio), y el suelo es compactado y anaerobio, bajando radicalmente las cosechas.

El error fue arar el suelo profundo y mantenerlo expuesto a la lluvia, usándose herbicidas para evitar la aparición de invasoras.

Es impresionante la diferencia entre un suelo aflojado por un subsolador y uno revuelto por la arada. En el primero, después de caer la primera lluvia fuerte no se comprueba que haya casi nada de escurrimiento ni estructura destruida, aparentando no haber recibido lluvia alguna, ya que ni una tenue costra se ha formado en la superficie. En el suelo arado, el escurrimiento del agua es fortísimo, todas las bajadas están llenas de agua, se formó una costra de 4 cm de espesor en la superficie del terreno, hay inundaciones, sedimentación etc., y la estructura del suelo está destruida.

El efecto de la fertilización es de todos modos superior en campos subsolados, por haber conservado la capa delgada de humus y vida en la superficie del suelo. Pero se debe llamar la atención sobre el hecho de que la tierra produce tanto menos cuanto mayor sea el número de pasadas de máquinas sobre el campo. Ya hemos mencionado el hecho de que el borde del campo, donde las máquinas maniobran, produce sólo un tercio de lo que produce el centro del campo.

Esto se debe a la mayor compactación del suelo por las ruedas de las máquinas. No sirve de nada que la tierra sea aflojada enseguida por una rastra: los grumos destruidos por la presión de las ruedas del tractor no se rehacen más, como una copa quebrada que no queda entera nunca más. Y la tierra se compactará nuevamente con la primera lluvia que caiga.

Es indispensable un planeamiento riguroso de los trabajos, disminuyéndose el número de pasadas de máquinas al mínimo necesario. Por algo se dice en Paraná (Brasil): "El arado tirado por caballo duplica la cosecha". La pata del caballo compacta menos en suelo que las ruedas del tractor.

El acoplamiento de las máquinas es una práctica necesaria. El efecto dañino de las ruedas del tractor sobre el suelo es tanto mayor cuanto más húmedo está el suelo.

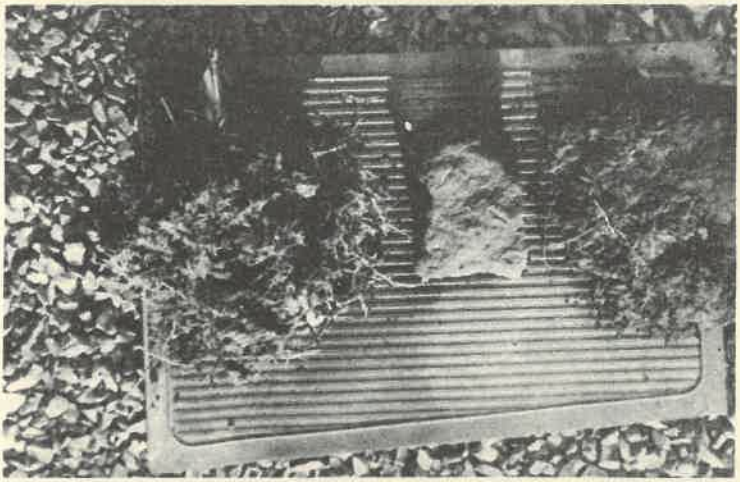


Fig. 10.32 *Tierra de "cerradón": en los lados, inmediatamente después de ser desmalezada; en el centro, después de 3 años de cultivo.*

4. La protección del suelo contra el impacto de la lluvia es indispensable para evitar el restablecimiento de la capa compacta, rota por la subsolación. El subsolador abre el suelo, pero en nada contribuye para mantenerlo abierto. Por lo tanto, los cultivos en líneas distantes, como maíz, tabaco, algodón o caña son poco adecuados para iniciar el cultivo de los "cerrados", aunque fuesen variedades adaptadas a las condiciones de las "sabanas". Tampoco la soja es adecuada para ser cultivo pionero, porque tiene dificultades en crecer en suelos de estructura deficiente. Por lo tanto, los cultivos más indicados son aquellos con raíces fuertes y que "cierren" el suelo, como el arroz de secano y las pasturas (6, 13, 26).

Normalmente el cultivo pionero es arroz de secano (20, 30), siendo tratado con herbicidas o rastreado para eliminar el rebrote del "cerrado". El rebrote del "cerrado" depende de la insolación directa al suelo. *Cuanto más rápido el suelo "cierre" menos probabilidades hay de que el "cerrado" vuelva a instalarse.* El cultivo de arroz con pastura implantada es, por lo tanto, una práctica ventajosa, sólo debiendo tenerse cuidado de no utilizar una sobrecarga de semillas de forrajeras, porque impediría el desarrollo del arroz.

5. Son necesarias la corrección del suelo y su fertilización. El pH debe estar alrededor de 5,8 a 6,1 (5, 13), y el calcáreo utilizado debe tener un PRNT ("grado de finura") entre 60 y 80 % como mínimo, lo que generalmente no ocurre, de modo que el efecto del encalado no aparece en el primer año.

Aun en suelos con un pH suficiente, como ocurre en suelos muy arenosos con un complejo de cambio muy reducido, conviene hacer un encalado para proveer el nutriente calcio (29, 22).

La fertilización orgánica siempre es ventajosa, aunque muchas veces no tenga efecto sin un encalado.

Pero debe llamarse la atención sobre el hecho de que *el abono verde es una fertilización nitrogenada*, que promueve poco el mejoramiento del suelo respecto a su estructura grumosa y su permeabilidad. Esta se mejora exclusivamente con materia orgánica madura, o sea, restos de cultivos junto con una fertilización, ya que la paja no se descompone de manera satisfactoria mientras faltan calcio, fósforo y micronutrientes. De modo que la fertilización principal es aplicada en la paja, mezclándola con el suelo superficialmente hasta 8 a 12 cm. En algunas zonas, también se necesita potasio. El nitrógeno es fijado por las bac-

Cuadro 10.10 *Prueba de fertilización orgánica y calcáreo en una rotación de cultivos (5) (en kg/ha)* (**Coimbra de Oliveira,** *1963)*

Tratamiento	*Maní* (1945)	*Maíz* (1946)	*Maní* (1947)	*Maíz* (1948)
testigo	633	253	316	74
abono verde	749	316	466	49
abono verde + calcáreo	1.963	1.512	1.262	1.030

terias que acompañan a los descomponentes de paja, cuando ésta está en contacto con el aire.

En todos los suelos de bioestructura deficiente, el micronutriente más escaso es el cinc, que impide especialmente la producción de arroz, causando muchas espigas blancas. La deficiencia de boro existe en muchas áreas, provocando la muerte de los brotes y la deformación de las hojas nuevas.

La fertilización potásica muchas veces no hace efecto (6), aunque falte el potasio, simplemente debido al desequilibrio con el calcio, que se agrava con la fertilización de nitrógeno amoniacal, que pesa del lado de los cationes, descolocando al calcio. Por otro lado, el potasio es indispensable para el control de la transpiración vegetal. El efecto del potasio generalmente se hace notar por el uso del encalado y el abono verde, en lugar de $N-NH_4$.

Es desaconsejable usar dosis elevadas de calcáreo, mayores que 2,5 t/ha, o sea, 6,0 t/alq., así como la fertilización en línea, excepto el fósforo, porque perjudican a los cultivos en las épocas de sequía, los "veranicos", que siempre ocurren debido a la distribución irregular de las precipitaciones. La fertilización "al voleo" beneficia los cultivos cuando falta agua.

La fertilización fosfatada es problemática. Aun en suelos con poco o nada de aluminio intercambiable, el fósforo se liga (21), siendo el 56 al 95 % absorbido por factores ajenos, probablemente por hierro y aluminio amorfo. Por lo tanto, la fertilización fosfatada no debe ser hecha sólo con formas hidrosolubles como superfosfato. Por otro lado, los fosfatos naturales como hiperfosfato, fosfato de Olinda, fosfato de Araxá y otros llevan 3 a 6 meses hasta reaccionar y únicamente dan resultado en suelos ácidos cuyo pH esté entre 4,7 y 5,5. De modo que un encalado previo reduce el efecto de los fosfatos naturales. Los más indicados son los termofosfatos y escorias. Pero cuando se usan fosfatos naturales por su precio, se aconseja que haya un nivel adecuado de materia orgánica, es decir, como mínimo 2,5 % en suelos arenosos y 3,5 % en suelos arcillosos, lo que acelera su reacción. Además, es ventajoso mezclar el fertilizante o abono natural con superfosfato en la proporción de 1 parte de superfosfato y 2 partes de fosfato natural, y agregar micronutrientes. También se puede aplicar el fosfato natural "al voleo", incorporándolo hasta 10 cm de profundidad con la rastra, usando superfosfato como fertilización en línea junto a la semilla. El cinc debe ser adicionado a los fosfatos (8) para garantizar el efecto normal del fósforo.

6. El retorno de la materia orgánica debe ser cuidadosamente planeado. La materia orgánica que promueve la estructura activa del suelo es la paja, pudiendo un cultivo exitoso suministrar alrededor de 10 t/ha de paja. Esta nunca debe ser amontonada o quemada, y sí incorporada superficialmente al suelo. El problema de las plagas se controla con una rotación de cultivos. Un picador de paja fijado a la cosechadora facilita sobremanera el manejo y la distribución de la paja que, durante la estación de la sequía, puede quedar cubriendo el suelo, y ser incorporada al comienzo de las lluvias, hasta 10 cm de profundidad usando una rastra.

Para la agricultura en el "cerrado" se necesitan, por lo tanto, subsoladores, picadores de paja, rodillos con cuchillas y rastras, pero, ante todo, un espíritu conservacionista. *El suelo del "cerrado" es un suelo destruido que no puede ser explotado inmediatamente, pero que sí debe ser recuperado ya,* por haber sufrido una explotación irracional.

7. Los corta-vientos son indispensables. Quien pretenda instalar pasturas debe sembrarlas mientras el suelo está siendo usado para cultivos agrícolas. La plantación de las curvas de nivel con arbustos asegura mejor los camellones de las terrazas, abaratando el mantenimiento, aunque raramente servirá también como corta-viento. Este debe cortar el camino del viento y no el camino del agua.

Para formar corta-vientos se necesitan tanto árboles como arbustos, ya que el tronco del árbol no es suficiente para obstruir el camino del viento. Cuando se trata de tierras buenas con un tenor adecuado en arcilla, propias para la agricultura, las fajas de corta-vientos de 10 a 20 metros de ancho, deben estar distantes unas de otras aproximadamente 80 m. Se aconseja el uso de árboles con rendimiento comercial, especialmente frutales, maderas de ley y arbustos de leguminosas.

Cuando se trata de pasturas, se indica el uso de árboles forrajeros como "charuteiros" *(cassia),* algarrobos *(Prosopis algaroba)* y otros semejantes, y también leguminosas forrajeras de porte arbustivo como *Leucaena,* guandú, desmodios y plantas forrajeras nativas que provean forraje en la estación seca, como el "cipó-boiadeiro", que podría ser plantado en los bordes del campo, ya que sólo crece arbustivo al sol. La distancia más adecuada de los corta-vientos en pasturas es de 50 metros.

A medida que los "cerrados" son desboscados, la instalación de corta-vientos se vuelve más urgente, ya que la incidencia del viento aumenta y las lluvias se tornan más irregulares, con prolongados períodos de estiaje. Con ello existe el peligro de la disminución del nivel freático también en los "cerrados" de Goiás y Mato Grosso, y la desaparición de las fuentes y arroyos todavía frecuentes, y aumenta el peligro de inundaciones.

PASTURAS EN EL "CERRADO"

En tierras más arcillosas y mejor estructuradas, y también en las de cascajo es posible conseguir buenas pasturas de pasto colonial. Pero, en todas las tierras arenosas el colonial, aunque consigue instalarse satisfactoriamente (lo que no ocurre siempre) es poco durable y desaparece enseguida. La causa principal es su porte erecto, en matas que, cuando pastadas, dejan el suelo descubierto expuesto a la lluvia (16). En la vegetación que sobra, debido a la baja dotación, el brote ocurre en los entrenudos, siendo rechazada por el ganado. El suelo se compacta, y como el pasto colonial necesita de una aireación adecuada para sus raíces, se debilita a medida que éstas encuentran dificultades, siendo dominado por invasoras o por la propia leguminosa implantada, como ocurre con el calopogonio.

Aun cuando el pasto se instale bien, no debe ser pastado en el primer año, para que haga semilla. La sementera, sin embargo, no nace en medio del pasto alto ni debajo de paja arrancada. El mejor método es pasar una rastra para hacer que nazca la sementera. Pero cuando esto no es posible, una quema controlada también servirá, ya que de ello depende la satisfactoria instalación de la pastura.

En los suelos inadecuados para el pasto colonial se aconseja observar cuáles son las forrajeras que se instalan con mayor facilidad. Y, aun siendo consideradas como "inferiores", una mezcla de 4 ó 5 pastos y gramillas y 3 o 4 leguminosas proporcionarán una óptima pastura, no sólo para cría, sino también para engorde. No se debe buscar "el mejor pasto", pero sí "la mejor pastura", que siempre será la constituida por el mayor número de especies. Debe ponerse atención en que para engorde podrá ser usado cualquier pasto voluminoso con adecuado tenor proteico, pero para cría se necesita una pastura baja con diversas forrajeras, para garantizar el mayor espectro de minerales y sustancias orgánicas, especialmente de aminoácidos.

Mientras el problema de la sequía permanezca y se agrave, no se aconseja la erradicación total de la flora nativa, porque en esta estación el ganado moriría de hambre en las pasturas, pero logra mantenerse en el "cerrado". Así la invasora "cipó-boiadeiro" es capaz de mantener al ganado en buen estado durante toda la época seca; y probablemente existan varias otras plantas nativas del "cerrado" que contribuyan a mantener el ganado (cuadro 10-1).

Las forrajeras más indicadas para el "cerrado" son el pasto gambá *(Andropogon gayanis)* (9, 25), pasto jaraguá *(Hyparrhenia rufa)*, pasto gordura *(Melinis minutiflora)*, *Centrosema*, estilosantes y galactia *(Galactia striata)*. El Calopogonio *(Caloponium mucunoides)* crece muy bien en estos suelos, pero se convierte fácilmente en plaga.

De cualquier manera, la estación seca es benéfica para el suelo y las forrajeras porque les proporciona el reposo que en clima templado les concede la nieve. En este espacio de tiempo, aun cuando la vegetación se seque, el suelo no debe quedar nunca desnudo, sino permanecer cubierto por una capa orgánica a fin de protegerlo tanto de la insolación excesiva, como especialmente del impacto de las primeras lluvias.

Es desventajoso dejar la vegetación seca en pie porque:

1. se enciende con facilidad, dando margen a fuegos devastadores,
2. en la primavera generalmente rebrota de la paja, como hacen el colonial, el estrella y el *Brachiaria*. Eso provoca en el colonial cada vez un crecimiento más pronunciado de motas, con una falta casi total de alargamiento de la base que podría cubrir el suelo. Las áreas desnudas del suelo aumentan, a veces, hasta un 80 %. Con ello aumenta el peligro de la erosión, de la decadencia del suelo y de la instalación de invasoras. Aparte de eso, el ganado también se ve obligado a comer la paja cuando pasta los nuevos brotes, de modo que el valor nutritivo del forraje es bajo. Cuando el pasto colonial es cortado, brota en la base echando los primeros macollos y permitiendo así una cobertura mucho más eficiente del terreno. El jaraguá, con paja alta, generalmente rebrota muy poco o nada, ahogándose debajo de la masa seca;
3. el rebrote del pasto ocurre más tarde en la primavera que el pasto comido, lo que generalmente es la razón del uso del fuego para la limpieza de la pastura, todavía durante la sequía, provocando así la incineración de la delgada capa de materia orgánica de la superficie y perpetuando las características del "cerrado". El pasto exhaustivamente pastado en otoño hasta quedar a ras, o pastado pesadamente durante la sequía también tiene su brotación atrasada. Este último, especialmente debido al daño de las raíces por el pisoteo del ganado, que es mucho más perjudicial en la sequía, que en la estación de aguas. Un rodillo con cuchillas del tipo sacacorchos, con láminas helicoidales, es lo adecuado para las forrajeras bajas y más finas, como pangola, estrella o *braciarias*, y el rodillo con cuchillas común, con láminas rectas, para el colonial.

Normalmente el rocío es muy fuerte en las madrugadas de la estación seca. Cuando no se permite que el viento lo seque enseguida, puede ser suficiente para mantener verde la pastura, si se la maneja con pastaje rotativo.

Resumen

Las características del "cerrado" se deben al fuego, a la capa compactada del suelo a que éste da origen, y al oligotrofismo inducido por esta capa compacta. Para recuperar los suelos del "cerrado", deben ser eliminados todos los factores que le dieron origen. Pero además se deben tomar medidas para proteger las plantaciones agrícolas o pastoriles del viento permanente, para economizar agua.

El suelo del "cerrado" está destruido y debe ser recuperado, principalmente mediante la adición de materia orgánica junto con un fosfato cálcico. Ninguna medida de recuperación tendrá efecto si el suelo no es protegido de la insolación directa y el impacto de las lluvias.

Para cultivos agrícolas el encalado es lo indicado, aunque no exista aluminio intercambiable. El cultivo pionero es el arroz de secano. Donde haya necesidad de una fertilización nitrogenada, el abono verde junto con un encalado es lo más acertado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Arens, K.** - 1958 - O cerrado como vegetação oligotrófica. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letras, USP 224, Botânica 15:59-77.*
2. **Avendaño, B. L. L.** - 1966 - Rehabilitación de suelos agrícolas de Guatemala mediante incorporación de matéria orgânica. *Tesis, Fac. Agron. Guatemala.*
3. **Betrant, A. R.** - 1965 - *Edição da SSSA, Wisconsin:* Plant environment and efficient water use.
4. **Camargo, P. A,** - 1963 - O clima do cerrado. *Simp. Cerrado, pp 77-95, Sete Lagoas, M. G.*
5. **Coimbra R. de Oliveira,** - 1963 - Agricultura no cerrado. *Simp. Cerrado, pp 317-36, Sete Lagoas, M. G.*
6. **Coqueiro, E. H. Pires, Correia, J. Pereira** e **A. Freire, de Barros,** - 1967 - Adubação de NPK na cultura de arroz-sequeiro em solos sob vegetação de cerrados. *Ann Inst. Pesq. agro-pec. Centro Oeste, Sete Lagoas, M. G. 1972, pp 79-89.*
7. **Ekern, P. G.** - 1964 - The effect of wind brakes on water economy. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(3):410-21.*
8. **EMBRAPA,** - 1976 - Sistema potencial da produção de milho no cerrado. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
9. **Emrich, S. E.** - 1972 - Competição entre cinco gramíneas forrageiras para a formação de pastagens em solo de cerrado. *II Reun. bras. Cerrado pp 209-21.*
10. **Falesi, I. C.** - 1972 - Solos da rodovia Transamazônica. *IPEAN, Bol. Tec. 55 Belém, Pará.*
11. **Ferri, G. M.** - 1963 - Histórico dos trabalhos botânicos sobre o cerrado. *Simp. Cerrado pp 9-35.*
12. ----------, - 1976 - Ecologia dos cerrados. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
13. **Freitas, L. M. M.; D. S. Mikkelsen, A. C. McClung** e **W. R. Lott,** - 1963 - Agricultura no cerrado. *Simp. Cerrado, Sete Lagoas M. G. pp 285-314.*
14. ----------, **E. Lobato** e **V. W. Soares,** - 1972 - Experiências de calagem e adubação de solos de cerrado do Distrito Federal. *II Reun. bras. Cerrados, pp 137-52.*
15. **Garcia F. de Freitas, C. Oliveira, da Silveira,** - 1976 - Principais solos sob vegetação de cerrados e sua aptidão agrícola. *IV Simp. Cerrados, Brasília.*
16. **Gifford, R. O** e **E. J. Jensen,** - 1967 - Some effects of soil moisture regime and bulk density on forrage quality in green house. *Agron. Jour. 59(1):75-77.*
17. **Goodland, R.** - 1971 - Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simp. Cerrado, ed. USP pp 44-66.*
18. **Herwig, K.** e **H. Linser,** - 1968 - Zuzammenhänge zwischen Bewindung, Transpiration und Nährstofftransport bei Lein unter besonderer Berücksichtigung einer variierten Wassergabe und Kalidüngung. *Kalibriefe, 2/2.*
19. **Hillel, D.** e **W. R. Gardener,** - 1970 - Non stationary infiltration in profils wich have surface crusts. *Soil Sci. 109:69-76.*
20. **Hoeflich, V. A.; E. R. Cruz, J. Pereira, F. Duque** e **H. Tollini,** - 1976 - Sistema de produção agrícola no cerrado. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
21. **Junker, P. H.** e **J. J. Madison,** - 1967 - Soil moisture characteristica of sand-peat mixture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31(1):5-8.*
22. **Kamprath, E. J.** - 1976 - Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
23. **Karmanov, I. I.** - 1966 - Changes in tropical soils under agricultural use. *Pochvov. 1: 36-48 (Amer. Issue)*
24. **Könlein, J.** e **M. Oehring,** - 1965 - Zur Problematik der Wasserbewegung in Ackerkrumen-Lysimetern. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 109(1):1-17.*
25. **Krivenkov, N. P.** - 1968 - Effect of density on derno podzolic soils on nutrient uptake by plants. *Agrokhimiya, 11:69-76.*

26. **Kuhn, J. Neto, J. C. Moura, de Pereira, C. Alves e J. Menck,** - 1976 - Resultados da implantação de pastagens pelo método CATI em solos do cerrado. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
27. **Landers, J. N.; A. Lima, de Souza, A. Gripp,** - 1967 - Possibilidade e desafios em irrigação dos cerrados. *II Reun. bras. Cerrado, Sete Lagoas, M. G. pp 39-50.*
27a. **Medina, H. P. e F. Grohmann,** - 1966 - Disponibilidade de água em alguns solos do cerrado. *Bragantia, 25(6):65-76.*
28. **Menezes, W. de Cardoso e W. Araujo, de Alves,** - 1961 - Recuperação do cerrado. *Inform. Agric. Rio de Janeiro, 1964, pp 154.*
29. **Nogueira, P. Neto,** - 1976 - Conservação da natureza do cerrado. *IV Simp. Cerrado, Brasília.*
30. **Pereira, J.; E. Coqueiro, Pires, A. Freire, de Barros,** - 1967 - Adubação fosfatada do arroz-de-sequeiro em solos de vegetação campo-cerrado. *II Reun. bras. Cerrado, Sete Lagoas, M. G. pp 63-77.*
31. **Primavesi, A.** - 1966 - Recuperação de solos improdutivos por métodos biológicos. *Biol. del Suelo. UNESCO, Montevidéu, pp 83-96.*
32. **Primavesi, O.** - 1976 - Plantas de cerrado e sua adubação com micronutrientes. *Comunicação pessoal.*
33. **Ranzani, G.** - 1963 - Solos do cerrado. *Simp. Cerrado, Sete Lagoas, M. G. pp 41-74.*
34. **Rawitscher, F.** - 1948 - The water economy of the vegetation of the "campos cerrados" in southern Brazil. *Jour. Ecol. 36(21):37-68.*
35. **Rens, K.** - 1963 - As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo. *Simp. Cerrado, Sete Lagoas, M. G. pp 250-65.*
36. **Rizzini, C. T.** - 1963 - Análise florística das savanas centrais. *Simp. cerrado, Sete Lagoas M. G. p 107-52.*
37. **Rosenberg, N. J.** - 1964 - La réaction des plants sur les effects physiques des adensaments du sol. *Adv. Agron. 16:181-96.*
38. **Schmidt, N. C.** - 1976 - Problemas de fertilidade em solos da série Pinhão S.P. *Bol. Inf. Soc. bras. Ciênc. Solo. 1/3:51-2.*
39. **Soares, W. V.; E. Lobato, E. Gonzalesz e G. C. Naderman Jr.** - 1975 - Encalado de los suelos del cerrado brasileño. *Manejo Suelos Amer. Trop. p 287-303.*
40. **Sharma, M. L. e G. Uehara,** - 1968 - Influence of soil structure and water relation in low humic latosols. II: Water movement. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(4):770-74.*
41. **Stevenson, D. S.** - 1968 - Effective soil volume and its importance to root and shoot growth. *J. Soil Sci. 47:163-74.*
42. **Sykes, D. J. e W. E. Loomis,** - 1967 - Soil and plant born factors influencing the permanent wilting point and field capacity. *Soil Sci. 104:163-73.*
43. **Watts, M.; L.Covolo e W.Silveira,** - 1973 - Influência da compactação do solo sobre a disponibilidade de fósforo em milho. *Curso Pós Graduaç. Biodin. e Prod. Solos. Sta.Maria/RS. não publicado.*

MANEJO DE LOS SUELOS DE LA MATA O SELVA AMAZONICA

La selva pluvial amazónica generalmente es conocida como "Mata Geral". En la literatura se la cita como *hiléia.*

La *Amazonia Legal* ocupa el 60 % del territorio nacional brasileño, porque incluye toda la cuenca amazónica inclusive los "cerrados" del norte del Mato Grosso y Goias. Pero aquí trataremos la región de la mata o selva.

Es opinión mundial, y en parte también brasileña, que la Amazonia está cubierta de selvas milenarias, de árboles enormes. Pero los "nortistas" distinguen entre la "mata geral", la "mata cipoal", la "mata de transición", las "capoeiras" en diversos estados de desenvolvimiento, las campiñas o "campinaranas" que son islas de árboles raquíticos en medio de la selva, y finalmente los "cerrados", que van hasta los "labradíos" de Roraima, que son sabanas de pasto bajo.

Frecuentemente no se encuentra más la selva virgen original, sino ya una selva o mata secundaria que raramente alcanza la imponencia de la selva primaria. Y no debe sorprender que justamente los mejores suelos presentan la peor vegetación, ya que la población amazónica supo elegir las mejores tierras para cultivarlas para su sustento. Las usaban en el sistema milenario de derrumbar, plantar un año y abandonar la tierra mudándose para otra nueva y fértil. Veinte y veinticinco años de abandono son lo normal antes de volver a cultivar el mismo terreno, si volvían. "Cipós y palmeras, sólo en las 'capoeiras' ", dice el agricultor del interior de Brasil. Y si esta selva es derrumbada, otra vez aumentan las palmeras, que como los cipós, necesitan de luz para crecer. De modo que el número de plantas de "babazú" *(Orbignia martiana)* indica el grado de transición hacia el "cerrado". La selva que incluye estas plantas, no es más la selva original.

Muchas veces se encuentra la selva mayor en los suelos más pobres, que los indios y campesinos del interior habían rechazado con sabia prudencia, por ser demasiado pobres (las tierras) para el cultivo de maíz y mandioca (figuras 10-33, 10-34 y 10-35).

Cuadro 10.11 *Análisis de los suelos de diversos tipos de "mata"* **(Falesi,** *1972).*

Lugar	*pH*	*CTC* en mg%	*S* %	*Al* en mg%	*P* ppm	*Ca* en mg%	*Mg* en mg%	*K* en mg%	*C* %
selva original	4,0	2,5	0,8	1,0	4,0	0,5	0,2	0,10	2,1
selva "cipoal"	6,3	11,2	7,9	0,1	44,2	5,7	1,7	0,48	0,8
selva transición al "cerrado"	5,8	32,4	26,6	0,0	30,0	18,6	7,2	0,64	4,4

Según el cuadro, se comprueba que los suelos más ricos se encuentran debajo de la peor vegetación.

Fig. 10.33 *"Mata o selva Geral", Pará.*

Fig. 10.34 *"Mata cipoal", Roraima.*

Fig. 10.35 *"Cerrado", Roraima, formado principalmente de "caimbé" o "lixeiras" (Curatella americana).*

Mientras la selva todavía estaba intacta, se suponía que la Amazonia era una planicie inmensa. Eso se fundamentó en el hecho de que el río Amazonas tiene sólo un desnivel de 60 metros en el recorrido de casi 2.000 km (es decir, un 0,003 %), y el río Madeira todavía menos. Sin embargo, al ir sucediéndose los grandes desmontes, desnudando millones de hectáreas, se comprobó que el paisaje no es plano, sino bastante ondulado y en parte, hasta accidentado, aunque las copas de los árboles se hayan nivelado a una altura única. Lo que ocurre es que los árboles crecieron mejor en las bajadas, y mucho menos en los "espigones", frecuentemente latosoles truncados con el horizonte B a la muestra, siendo formado de concreciones o cascajo laterítico, generalmente con un segundo horizonte de plintita a 50 hasta 80 cm de profundidad (4), que puede estancar el agua (ver figura 10-36). Por lo tanto, aun siendo "tierra firme" no ofrece buenas condiciones de crecimiento.

Fig. 10.36 *Paisaje amazónico (Pará), con las copas de los árboles a un mismo nivel, en una topografía muy ondulada.*

Este paisaje presenta un desafío a ser utilizado, ya que los montes prácticamente no tienen buenas tierras y las bajadas no tienen buen drenaje, puesto que el paisaje no es de tipo montañoso, sino una planicie inmensa en la que fueron "insertados" los montes **(tesos)** o colinas. Gran parte de los suelos amazónicos son hidromórficos, pudiendo ser de origen podzólico, laterítico, orgánico o de glei. Por eso se distingue entre "tierra firme" y suelos húmedos. Estos suelos húmedos no se localizan necesariamente en las bajadas, sino también en terrenos elevados, áreas levemente onduladas, donde la plintita existe en el horizonte B, estancando el agua, de modo que los árboles con raíces tabulares existen tanto en bajadas como en los terrenos más elevados (18).

cultivo de caña 1° corte.....	170 t/ha
2° corte.....	85,5 t/ha
3° corte.....	72,0 t/ha

Fuente: Datos de **IRI**, recogidos en el "Proyecto Jari"

cultivo de arroz 1° corte.....	6,0 t/ha
2° corte	5,0 t/ha
3° corte.....	4,0 t/ha(4)

Fuente: Datos de **IRI** recogidos en el "Proyecto Jari"

Las "várzeas" o campiñas son las tierras más fértiles, aunque son también arenosas. Poseen su potencialidad debido a los sedimentos traídos por las aguas de los ríos y, drenados, dan excelentes cosechas que, sin embargo, disminuyen con el correr de los años.

Pero el drenaje de los terrenos es muy oneroso y difícilmente podrá ser hecho por los agricultores.

Los podsoles hidromórficos son extremadamente arenosos, dando origen a la selva "arenícola", cuyo suelo es tomado por "samambaias" (helechos) de hojas grandes, especialmente cuando la selva ya es de segunda vegetación, es decir, cuando fue derrumbada una vez.

Existen litosoles que dan origen a la "floresta serrana" o bosque serrano, bastante raquítico, regosoles que a pesar de ser profundos por lo general comportan sólo un "umirizal" *(Humiria floribunda)* o selva del tipo caatinga, y algunos grumosoles que, a pesar de su arcilla rica, montmorilonítica, presenta la selva más variada: desde la "mata" seca, pasando por el "cerrado", la floresta semidecidua ecuatorial, hasta la floresta amazónica húmeda; de modo que el tipo de suelo parece tener poca influencia sobre la formación de la cobertura vegetal, a semejanza de los "cerrados".

Existen algunos suelos latosólicos arcillosos, de fertilidad media a alta, pero desde los levantamientos del área amazónica por RADAM, se sabe que solamente el 10 % de esos suelos son propios para el uso agrícola, soportando cultivos anuales. El 90 % restante sólo podrá ser manejado bajo una cobertura permanente, sea de ella de pastura o de cultivos arbustivos o arbóreos.

Los suelos en su mayoría son pobres, siendo la capa delgada de materia orgánica en su superficie alrededor de 1,8 a 3,5 % el sustento de la vegetación (3, 5, 13), con el desarrollo de gran parte de las raíces en esta zona. Si la limpieza del terreno es hecha con lámina, raspándose esta capa, lo que se siembra aquí no se desarrolla. Así las gmelinas (Gmelina arbórea) en un año alcanzan la altura de 1 metro en el suelo de las hileras sin la eliminación de la capa superficie, mientras que las de la tierra "raspada" no sobrepasan los 15 cm. Por otro lado se plantan cauchos poniendo como fertilizante esta tierra superficial en los agujeros de la plantación, lo que les garantiza un desarrollo bueno durante unos 3 años (figuras 10-37 y

Fig. 10.37 *Selva o mata desmontada.*

10-38). Sin embargo, como el clima tropical es propicio para una descomposición muy rápida, toda la riqueza del suelo desaparece después de 1 o 2 años de cultivo (14). Agotándose la materia orgánica, se termina también la productividad de los suelos.

Fig. 10.38 *Madera talada y quemada. El campo está listo para la plantación.*

La selva de Amazonas, en parte exuberante, se basa en *un equilibrio muy delicado entre la materia orgánica, la estructura del suelo, la humedad del aire y el nivel freático. Es un ecosistema extremadamente frágil que depende de los árboles y su agua transpirada (11), la ausencia de viento* (lo que ocurre en una selva densamente cerrada), *la protección de sus suelos contra el sol y el impacto de las lluvias ecuatoriales (2), y una distribución equilibrada de las lluvias* durante el correr del año, en vista de la capacidad reducida de retención de humedad de la mayoría de los suelos. Y hasta el macroclima contribuye para mantener este ecosistema específico, con la frecuente nebulosidad, reduciendo la tasa de incidencia de luz solar sobre la vegetación (1).

Así la selva alcanza, parcialmente, hasta 60 metros de altura y los árboles, hasta 3 metros de diámetro, abundando en esencias preciosas, como "macaranduba" *(Manilkara huberi)*, "mogno" *(Swietenia mahagoni)*, carobas o jacarandás *(Jacarandá spp.)*, angelín *(Dinizia excelsa)*, "ipés" *(Tecoma spp.)* y muchas otras. No importa la pobreza química de los suelos ni los tenores elevados de aluminio intercambiable, que alcanzan a más de 9,0 e.mg% (4).

La mayoría de los suelos cubiertos por la selva no sirven para la agricultura, que debe estar restringida a las campiñas y a las manchas de latosoles rojo-amarillos y rojos.

En los últimos diez años se modificaron un poco los problemas preferenciales. Mientras antes el problema mayor fue cómo desmontar la mayor superficie de selva en el tiempo más corto (figuras 10-37 y 10-38), se comprobó enseguida que la selva indiscriminadamente derrumbada no dejaba suelos de una fertilidad exuberante como se esperaba. Entonces, el problema mayor se tornó cerrar las manchas de tierra fértil, aunque se continúa derrumbando, talando, a un ritmo de 300.000 a 400.000 hectáreas por año (14). Pero la mejor manera no es desmontar centenas de millares de hectáreas para encontrar un suelo que sirva de vez en cuando. La cuestión es mantener las condiciones climáticas de manera que éstas permanezcan "extremadamente favorables" para una vegetación exuberante. Y estas condiciones desgraciadamente ya se están alterando, debido a que las pasturas no ejercen acción idéntica a la de la selva o bosque (figura 10-39).

Fig. 10.39 *Pastura instalada. Se trata de* Brachiaria humidicola *(Quicuio da Amazonia), que forma pasturas casi exentas de invasoras 6"juquiras").*

Sin la menor duda, el clima de la región amazónica ecuatorial húmeda parece "muy favorable" a la producción vegetal, teniendo como prueba la hileia. Pero no se tiene en cuenta que el clima existe gracias a la vegetación, a la selva, que como un inmenso termostato, está evitando los extremos de temperatura. Las pasturas no son termostatos y no se puede esperar el mantenimiento del clima amazónico después de la total modificación del paisaje, cambiando la selva por pasturas.

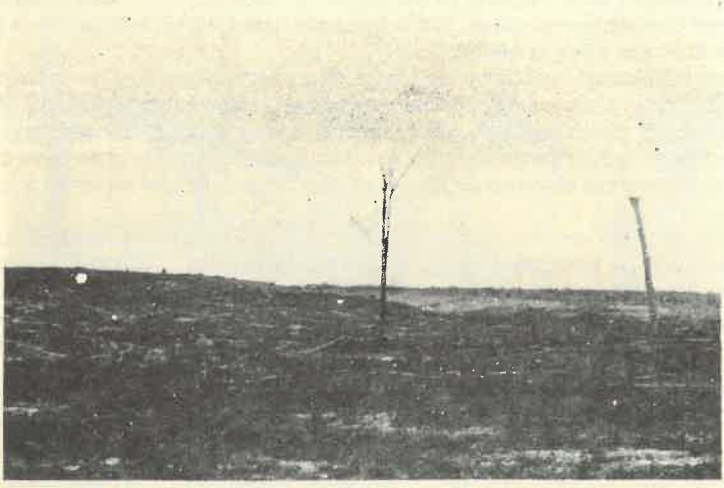


Fig. 10.40 *Pastura amazónica 6 años después de haber sido derrumbada la selva y con uso anual de fuego. (Pará).*

En la zona de la selva las temperaturas oscilan entre 22° C y 28° C, con una humedad relativa del aire entre 73 y 88 %, pudiendo subir el promedio anual de algunas zonas hasta 91 % (1). Los extremos de frío van hasta + 19° C y los de calor hasta + 35° C que, sin embargo, son raros en la zona selvática, sino que más bien ocurren en los lugares donde la selva ya fue levantada. Aproximadamente el 25 % de la región amazónica está desmontado, lo que alcanza a 1 millón de kilómetros cuadrados. Y la temperatura se vuelve más extrema cuanto menor es el área con vegetación selvática, hasta llegar a los extremos de los desiertos que oscilan entre − 4° C de noche y + 50° C de día, como ocurre en el Sahara.

La quema anual de los suelos amazónicos crea "tierra quemada" (figura 10-40), que en poco tiempo ya no es capaz de dar ninguna cosecha y es tomada enseguida por plantas silvestres adaptadas al fuego.

La superficie de este suelo se torna impermeable y las precipitaciones, que oscilan entre 1.300 y 4.000 mm (Amapá) anuales no se logran infiltrar. Por lo tanto se escurren, acumulándose en las bajadas. Y, mientras las aguas detenidas que se llaman "Iguapó" son negras por el humus, el agua de la lluvia escurrida es turbia por la tierra arrastrada. Son muchas las bajadas inundadas por aguas escurridas de tierras desmontadas.

La selva y la humedad evaporada, así como las nubes formadas, limitan la insolación en el área ecuatorial en un 35 y hasta un 60 %. Todos conocemos las nubes espesas que frecuentemente cubren la región (16). Parece evidente que cualquier modificación de este estado ecológico que existe entre la productividad del suelo, la selva y el clima, iría a provocar una modificación bien marcada en el crecimiento vegetal. Sólo la disminución de la humedad en el aire y de la nebulosidad, que permitan una mayor insolación, ya tendrá una influencia sobre la capa vegetal.

El problema amazónico básico es mantener el clima favorable, aun cuando el paisaje natural sea substituido por un cultivo.

Existen opiniones de que sería deseable la disminución de la pluviosidad, pero no se tiene en cuenta que la disminución de las lluvias no significa que éstas serían menos pesadas, sino por el contrario, se tornarían más espaciadas y más pesadas, instalándose una estación seca que antes no existía. De modo que la disminución de la pluviosidad equivale a la instalación de "veranicos" y estíos. Esta condición junto con la mayor insolación y el

Fig. 10.41 *No se trata de un "Iguapó", sino de agua de lluvia escurrida de pasturas vecinas y estancadas en una bajada. Los árboles que allí existían murieron "asfixiados".*

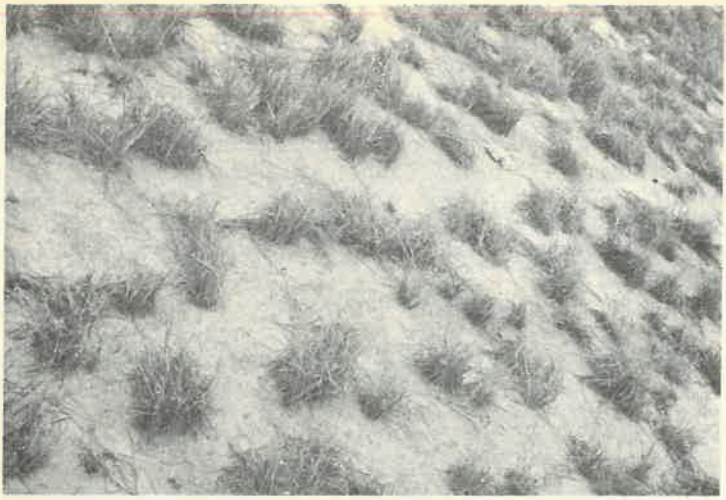


Fig. 10.42 *Donde se usa el fuego como técnica frecuente, la mejor vegetación no resiste, instalándose pastos-fibrosos y cespitosos, como el pasto "cabeludo"* (Trachypogon polycuoris).

aumento de las temperaturas por falta del "termostato natural" que es la selva, significa un empeoramiento considerable de las condiciones de producción vegetal.

¡No hay duda de que el área amazónica puede ser trasformada en una zona de cultivo, pero siempre que se observen los principios ecológicos existentes! Cada modificación impensada significa un empeoramiento de las condiciones de un ecosistema extremadamente delicado, mucho más delicado que el de las pampas fértiles, del granero de la antigua Grecia y Roma, que hoy están trasformadas en el desierto del Sahara.

Antes que nada debe garantizarse el ciclo del agua, entre infiltración y evaporación, mantener las temperaturas estables, conservar la humedad en la región y garantir la buena distribución de las lluvias, que dependen de una cantidad adecuada de zonas selváticas o de represas. Tiene que evitarse la instalación de una estación seca cada vez más prolongada y más pronunciada que, en estos suelos predominantemente arenosos, tendrá un efecto desastroso sobre cualquier cultivo, sea anual o perenne.

El uso anual del fuego para la limpieza de extensas áreas, crea una vegetación "nativa" del fuego, como muestra la figura 10-42.

Como el fuego evita el crecimiento de plantas estoloníferas, gran parte del suelo queda desnuda, ya que el pasto cespitoso, creciendo por sectores, no consigue "cerrar". Un solo año sin quema modifica la vegetación completamente, permitiendo la proliferación de muchas plantas de hojas largas, nacidas de semillas, así como pastos reptantes.

En suelos con más de un 20 % de arcilla aparecen los hormigueros de termitas (cupinzeiros), que son más frecuentes cuanto más compacto e impermeable se torna el suelo. De modo que el "paisaje del fuego" está marcado por los montículos de las termitas (figura 10-43), que en las tierras de Roraima alcanzan la altura de 4 metros y el diámetro de 3 metros, como retrato elocuente de la tierra destruida.

¡El suelo se tornó impermeable!

Para garantizar la infiltración del agua, los suelos deben estar protegidos contra el impacto de las trombas de agua, los "torós" tropicales que antes del desmonte eran amortiguados por la vegetación.

Los suelos deben estar protegidos contra la insolación directa, la erosión y la lixiviación. Y para todo eso existe una única medida: ¡una cobertura vegetal permanente! Esta

Fig. 10.43 *El "paisaje del fuego". Hormigueros de tamaño gigantesco y de frecuencia espantosa se instalaron en lo que una vez era una pastura.*

Fig. 10.44 *Desmote de indio en el "abrigo" del bosque; una labranza en un área de media hectárea cercada por la selva. El rendimiento es elevado.*

vegetación permanente pueden ser pasturas que cubran el suelo perfectamente, excluyendo el pasto colonial; cultivos arbustivos como el guaraná sólo en la sombra de la selva es enredadera, pimienta del reino o cultivos arbóreos, incluyéndose aquí tanto los frutales, las maderas de ley, productoras de látex, palmeras, etc. Pero todos estos cultivos perennes necesitan un suelo cubierto por un "cultivo protector" que generalmente es una leguminosa. El suelo escardado a limpio con certeza tendrá una decadencia rápida.

Otro problema es el viento, que en la selva prácticamente no existe, pero que aparece infaliblemente en las zonas desmontadas, "cerrados" y labradíos. La selva no se quemaba mientras el viento no podía entrar, y los árboles tenían que ser derrumbados para que el viento los secase, para luego poder ser quemados. Pero en el momento en que la selva es aireada, entrando el viento, el fuego constituye un peligro permanente a los costados de los caminos, en los costados de las zonas desmontadas y en las fajas de selva en pie entre las derrumbadas, de donde fueron retirados los árboles más altos para la producción de postes para cercados. Las hojas secas en el piso y la madera caída permiten que el fuego prenda con demasiada facilidad, causando incendios enormes en las pasturas aunque éstas no estén totalmente secas. ¡Estas quemas incontroladas destrozan todo! El viento se lleva la humedad (17), mientras el sol quema las pasturas. La implantación de leguminosas arbustivas como el guandú *(Cajanus indicus)* no sólo provee de sombra al pasto forrajero, sino que también atenúa un poco el viento, provee forraje suplementario para el ganado en la estación más seca, e impide la aparición de invasoras.

Las labranzas de los indios, plantadas en el "abrigo" del bosque protegidas del viento y del sol excesivos, consiguen dar cosechas de maíz altamente compensadoras, mientras que labranzas mayores, fuera de la selva, apenas producen espigas pequeñas. El sol y el viento impiden una producción mayor (figura 10-44).

Parece importante, pues, como mínimo para las labranzas de sustento, que reciban alguna sombra durante el día, y que no sean barridas por la brisa constante.

Mientras la selva estaba en pie, el ciclo del agua era perfecto: la lluvia caía, se infiltraba en el terreno, penetraba al nivel freático, era absorbida por las raíces y transpirada por las hojas de los árboles; formábanse nubes y llovía nuevamente.

Derrumbados los árboles, no sólo falta la presión atmosférica baja que existía sobre la selva, sino también la "transpiración" del agua. En la selva raramente hay fuentes y nacientes, pero derrumbándola, el agua brota del suelo. Y existen zonas como en Rondonia donde el suelo se transformó en un charco después del desmonte. Sin embargo, después de diez años, estas fuentes se secan.

Las zonas desmontadas son diferentes de la selva. El viento sopla en las áreas limpias, secándolas rápidamente. La humedad evaporada es llevada, dejando un ambiente seco. Las lluvias golpean en el suelo desnudo, el agua se escurre y los iguarapés y los ríos presentan crecientes desconocidas hasta entonces. La erosión devasta los terrenos, como a lo largo de la autopista Belén-Brasilia, al sur del Maranhão, o alrededor de São Luiz. Las plagas y las enfermedades aparecen con increíble rapidez y con una intensidad casi incontrolable.

Antiguamente, cada hectárea de tierra poseía, como mínimo, 100 especies vegetales diferentes, y de una especie nunca aparecían más que 3 a 5 ejemplares por hectárea, controlando así eficazmente la multiplicación de pestes. El no tomar en cuenta este hecho llevó a Fordlandia a la pérdida total de sus plantas de caucho, e hizo que el "proyecto Jari" perdiese millones de plantas de *Gmelina.* Y los japoneses establecidos cerca de Belén perdieron, solamente en 1975, aproximadamente 11 millones de plantas de "pimienta del reino", debido a nematodes y hongos (14) que liquidan los cultivos más antiguos. Donde se instalaron las pasturas multitudes de insectos dificultan la vida de plantas y animales.

Parece evidente que el monocultivo comercial, practicado en otras regiones del país, es poco adecuado para ésta, donde aun el "cajueiro", nativo de la zona, es atacado por plagas cuando se lo planta como monocultivo. ¡El delicado equilibrio biológico exige técnicas diferentes! El peligro de la devastación está presente.

En una comparación de suelos del "cerrado" y de la "selva geral", **Falesi** (1972) da el siguiente cuadro:

Cuadro 10.12

"Cerrado"	*Factor comparado*	*Selva*
semejante a bosque	*arcilla total*	semejante al "cerrado"
semejante a bosque	*limo*	semejante al "cerrado"
menores valores	*arena fina*	mayores valores
mayores valores	*arena gruesa*	menores valores
menor	*capacidad de cambio de cationes*	mayor
mayor	*saturación en bases*	menor
mayor cantidad	*cationes disponibles*	menor cantidad
menor	*aluminio de cambio*	mayor
menor	*materia orgánica*	mayor

Y pueden presentarse 3 factores constantes en el "cerrado", que faltan en la región boscosa o selvática: el viento, el fuego y la capa compactada del suelo.

Podemos sacar en conclusión que no es la mayor riqueza del suelo ni el menor tenor en aluminio lo que permite la vegetación exuberante de la selva, sino exactamente la ausencia de estos 3 factores: viento, fuego y compactación del suelo.

El impedimento del viento y la conservación de la humedad, el impedimento del fuego y el retorno de la materia orgánica al suelo, y el impedimento de la formación de la capa compactada protegiendo el terreno contra el impacto de las lluvias, son los factores que permiten esa productividad extraordinaria de algunos suelos pobres. *Desmonte, arada y fuego son un método seguro para la formación de "cerrados", y tal vez de desiertos.*

LA PRODUCCION EN LA AMAZONIA LEGAL

El problema amazónico no es dejar la selva tal cual está, sino manejar los suelos y la región de modo que las condiciones básicas de su productividad se conserven.

Cuadro 10.13 *Precipitaciones pluviométricas en la Amazonia Legal (***Bastos T. X.,** *1972, compilados por* **Primavesi***)*

			269	240	138	104	47	86	147	251	216	241
Local	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
MATA GERAL (S.G.d. Cachoeira/Am)	275	250	285	267	317	250	246	195	148	173	205	306
MATA GERAL Tapuruguara/Am)	231	213	250	326	313	269	225	175	158	157	200	173
Transición para la MATA CIPOAL (Sur de Acre).	246	244	269	240	138	104	47	86	147	251	216	241
Transición de MATA CIPOAL para el CERRADO (Altamira/PA)	216	275	346	278	176	73	49	22	30	44	65	106
CERRADO (Cáceres/MT)	215	206	171	73	48	20	11	7	36	94	157	197
CERRADO (Paraná/GO)	218	214	184	84	8	1	2	2	28	108	227	261

Se observa que a medida que disminuye la selva aumenta la sequía (ver Capítulo 3).

Los sistemas desarrollados en Belén consisten en cultivos permanentes en fajas o "salpicados".

Existen tres alternativas (7):

a) conservar "islas" circulares de la selva, de aproximadamente 50 metros de diámetro, distribuidas en cuadros, de modo que constituyan corta-vientos alternados. En estas "islas" no existe el peligro de que los árboles se caigan, porque al ser circulares el viento no tiene posibilidad de derrumbarlos, como sí ocurre en las "fajas" (figura 10-45);

b) plantar "fajas" de árboles industriales como el caucho *(Hevea brasiliensis)* (figura 10-46) u otras productoras de látex, árboles frutales como "cajueiros" *(Anacardia occidentalis)*, "mangueiras" *(Mangifera indica)*, o castaños *(Bertholettia excelsa)*, cocos *(Cocos nucifera)* o palmeras oleaginosas como "dendezeiras" *(Elaeis guineensis)*, "babacú" *(Orbygnia martiana)*, "acaí" *(Euterpe oleracea)*, "carnauba" *(Copernicia cerifera)* y muchas otras. Estas fajas deben ser subplantadas con vegetación arbustiva, como leguminosas. Se pueden usar también árboles de leguminosas y subplantarlos con cacao *(Theobroma cacao)*, o plantar guaraná *(Paulinia cupana)* en sus bordes. Se podría pensar igualmente en árboles forrajeros como el de habas y "charuteiros" *(Casia spp.)*, o en esencias para perfumería como palo de rosa *(Aniba rosoedora)*, y finalmente en maderas de ley.

En terrenos húmedos también se podría plantar "buritis" *(Mauritia vinifera y M. flexuosa)* que, además de innumerables productos, también provee celulosa para la producción de papel.

c) "salpicar" las pasturas con árboles frutales o forrajeras, en especial con diversas palmeras como "inajá" *(Maximiliana regia)* o tucuma *(Astrocarymun vulgare)* que en la época de menos lluvia producen frutos comestibles para el ganado. Pero se puede usar cualquier árbol industrial o comercial, formando una pastura de tipo "capoeira" rala (pastura con árboles dispersos), (figura 10-46).

El desarrollo amazónico no es posible si se lo basa en cultivos "importados" del sur o de otros países, sino sólo en base de su propia riqueza forestal que, por ahora, parece incalculablemente vasta. No debemos tratar de adaptar el clima y los suelos a las exigencias de cultivos extraños, "injertados" en la región, pero se debe plantar lo que se adapta a clima y

Fig. 10.45 *"Islas" de árboles nativos en medio de pasturas.*

Fig. 10.46 *Paisaje de cultivo amazónico con pastura, Hevea y castaños.*

suelo tropical. Lo que falta no es la variedad de cultivos posibles, sino una industrialización adecuada.

Desarrollar significa mejorar lo existente. La producción de aceites comestibles, in-

Fig. 10.47 *Pastura "salpicada" con palmeras.*

dustriales y medicinales, fibras, látex, frutos, especias y jugos, son capaces de dar inmensas posibilidades a esta región. Pero el desarrollo de la Amazonia exige una investigación netamente brasileña, especialmente en el desarrollo de variedades más productivas y en la industrialización de los productos. Si pretendemos plantar caña de azúcar, soja y maíz en gran escala, las profecías más sombrías no tardarán en concretarse. Pero, las plantas propias de la zona ecuatorial, acostumbradas a un pH ácido (6) y suelos pobres, producirán bien sin esfuerzos extraordinarios, mientras se evite el monocultivo.

Lo que falta en Brasil son las técnicas adecuadas para la región. Si usan las técnicas desarrolladas para Europa o Norteamérica, será el fin de la Amazonia y el inicio de "cerrados" y desiertos. Si usan técnicas propias a las condiciones locales tendrán una región floreciente y próspera.

En cualquier caso, sea cual fuere el cultivo, el suelo deberá estar protegido contra el sol y el impacto de la lluvia. Para eso se usan cultivos protectores (cover-crops), que generalmente son leguminosas (19), pero que puede ser cualquier otro cultivo que no perjudique la plantación principal. Así se planta Centrosema entre las plantas de caucho, pasto entre el "dendé", estilosantes entre los "coqueiros" (10) y "matapasto" *(Crotalaria striata)* entre el ananá.

Todas las técnicas usadas en la Amazonia deben seguir la siguiente orientación:

1. mantener el suelo con una estructura física favorable para que las plantas puedan desarrollar libremente su sistema radicular, evitando que se concentren todas sus raíces en la superficie en busca de nutrientes que provengan del humus y del aire. El uso del fuego para la limpieza de los campos provoca infaliblemente la compactación de los suelos. Los suelos arenosos se vitrifican en la estación seca y los arcillosos adquieren un rechazo al rehumedecimiento, de modo que consiguen retener muy poca agua útil. En ambos, los períodos de sequía se hacen sentir con gran rigor;
2. mantener el suelo siempre cubierto, evitando la preparación tradicional con el arado y la rastra, que siempre provoca la exposición del suelo desnudo al sol y la lluvia;
3. usar cultivos apropiados a la región, que por lo mismo, consiguen utilizar al máximo los nutrientes escasos de estos suelos y se benefician con el clima;
4. cuidar que se haga el retorno de materia orgánica al suelo;
5. usar termofosfatos magnesianos o fosfatos naturales en la fertilización, si ésta es necesaria;
6. tratar de no plantar áreas muy extensas, protegiendo las plantaciones contra el viento y proporcionándoles alguna sombra durante el día. Los mayores rendimientos provienen de áreas entre 0,5 y 1,2 ha.

PREPARACION DEL SUELO DE LA ZONA ECUATORIAL

Hasta que se tengan mayores detalles, la preparación del suelo debe ser la siguiente:

Con rodillo con cuchillas se pican los restos vegetales en el campo, debiendo ser acoplada la rastra al rodillo con cuchillas. Se siembra inmediatamente una leguminosa al voleo con semilla peletizada con micronutrientes junto con fosfato, para que cubra el suelo en pocos días. Este es el cultivo protector. Para la plantación del cultivo principal se limpian las líneas de plantación del cultivo protector (15).

Si el cultivo fue bien elegido, controla perfectamente a las invasoras, que en la Amazonia son muchas, especialmente las de porte alto, como "uña de gato" *(Acacia bonaerensis)*, "pata de vaca" *(Bauhinia candicans y B. fortificata)*, "inajá" *(Maximiliana regia)*, diversas indigóferas, las más variadas "jurubebes" (Solanum spp.), "imbauba" *(Cecropia adenopusy)* y muchas otras.

Si existe la necesidad de aflojar el suelo se usa un subsolador.

En los campos recién desmontados, el rebrote se denomina "juquira". No se trata sólo del rebrote de la selva, sino de toda vegetación arbustiva que aparece espontáneamente después del desmonte. Se la puede dominar por medio de un cultivo protector o un pasto bien cerrado, ya que su aparición depende de la insolación directa del suelo. Sin luz no crece el rebrote, porque son plantas competitivas por la luminosidad. Así, una pastura de "quicuio" de la Amazonia *(Brachiaria humidicola)* estará prácticamente libre de rebrote mientras el pasto colonial es literalmente tomado por la "juquira".

La necesidad de fertilización crece a medida que el suelo decae, ya que restringe el espacio explorado por las raíces. Pero también es pronunciada en cultivos inadecuados para la Amazonia. Si deseamos fertilizar, la aplicación en línea es poco indicada, excepto para los fertilizantes fosfóricos, ya que el potencial radicular es bajo no pudiendo absorber agua y nutrientes durante el calor del día, si la concentración de éstos es elevada. Por otro lado vemos que la extrema pobreza de los suelos amazónicos no impidió el crecimiento exuberante y legendario de la vegetación por estar adaptada al medio; los suelos son de fácil penetración y el retorno de la materia orgánica está garantizado.

En cuanto al suelo, la única diferencia entre la hileia amazónica y el "cerrado" es su permeabilidad, que en Amazonia es buena debajo de la vegetación, pero en el "cerrado" periódicamente quemado se perdió, formando capas muy compactadas en la subsuperficie.

Después del desmonte, la primera preocupación debería ser la colocación o formación de corta-vientos, si no han sido dejadas "islas" de selva en pie. Los corta-vientos primitivos pueden estar formados por "juquira", es decir, el rebrote de la vegetación, que se dejará crecer en fajas de 6 a 8 metros de ancho y 30 metros de distancia. Estas fajas deben ser enriquecidas con leguminosas, preferentemente "pueraria" y "calopogonio".

No es aconsejable el uso de herbicidas para combatir la "juquira", ya que el potencial de la vegetación todavía es muy grande, apareciendo plantas resistentes muy duras y casi incombatibles en el futuro. La primera vez, la "juquira" deberá ser desmontada manualmente, después deberá ser suprimida por una vegetación pastoril o cultivo protector adecuado. *¡Sólo en un suelo desnudo la "juquira" tiene oportunidad de brotar otra vez!*

Después que se pudre la madera derrumbada dejada en el campo, lo que ocurre en más o menos 5 a 6 años, los corta-vientos pueden ser substituidos por árboles industriales, comerciales, forrajeras o de ley. Para este caso vale la regla que el ancho de la faja plantada con árboles debe corresponder al ancho de la faja pastoril, es decir, ambos deben tener un ancho semejante. El máximo de ancho de la faja pastoril o plantada con cultivo bajo debe ser de 40 a 50 metros. Mayores espacios no garantizan el mantenimiento del ecosistema. Es ventajoso consociar cuatro o cinco especies de árboles en la misma faja, para evitar la aparición de enfermedades y plagas devastadoras.

FORMACION DE PASTURAS EN AMAZONIA

Para la formación de pasturas no son aconsejables los pastos que formen motas como el pasto colonial, porque dejan gran parte del suelo desnudo. En los terrenos firmes, profundos y no muy húmedos, hasta ahora los mejores pastos son el "quicuio" de Amazonia *(Brachiaria humidicola)*, diversos *Andropogon,* tal vez jaraguá *(Hyparrhenia rufa)* y "pasto-negro" *(Paspalum plicatulum var guayanensis)*. Ellos deben ser consociados con leguminosas como estilosantes *(Stylosanthes gracilis* y *St. guyannensis), Desmodium adscendens, Centrosema* y quizás *Calopogonium.*

En los suelos concrecionarios, conocidos como de "cascajo", las mejores forrajeras son el pasto gordura *(Melinis minutiflora)* consociado con guandú *(Cajanus indicus* y *C. cajanus).*

En los terrenos bajos con humedad periódica los "canaranas" son los pastos más indicados *(Echinochloa piramidalis)* y, en los terrenos encharcados o que permanecen debajo del agua durante todo el año, la *Echinochloa polystachya.* También la *Hemarthria* podría

ser considerada. A pesar de que la pueraria va perfectamente en estos terrenos, no se aconseja su plantación ya que domina todo.

Para la implantación de pasturas, las forrajeras que pueden nacer de semillas son más convenientes que las que se multiplican por mudas. Así la *Brachiaria decumbens,* sin duda, es la más acertada, teniendo además la ventaja de "cubrir" la madera que ha quedado en el campo, acelerando su descomposición. Sus desventajas son conocidas, especialmente el hecho de poder provocar fotosensibilidad en el ganado y ser atacada por cigarras, como cualquier otro pasto en monocultivo.

No es aconsejable plantar monocultivos de pastos o gramas por ser extremadamente susceptibles a plagas y enfermedades. El polifitismo amazónico debe ser mantenido rigurosamente para evitar los peligros de la multiplicación unilateral de algunos insectos o microorganismos, que en este clima es explosiva. El policultivo o cultivo consociado tiene la ventaja de proporcionar plantas adecuadas para todas las particularidades del terreno. El minizoneamiento ya se nota después del tercer año, en que han desaparecido las plantas menos adecuadas para el lugar específico y dominado las más adecuadas. Como la región amazónica es riquísima en modificaciones de suelo y de ambiente, la mezcla de semillas es una garantía de éxito de la implantación de la pastura.

La fertilización fosfatada aumenta la resistencia a la sequía, pero sólo es económica cuando existe algún manejo de la pastura que garantice la utilización del forraje producido por el fertilizante.

La lotación animal es de 1,5 reses/ha en la época de aguas, y de 0,5 cabezas/ha en la sequía, lo que sugiere medidas urgentes para la estación más seca, para poder garantir una lotación más uniforme durante el año. Este suplemento, de manera más racional, debe proveer de pasturas arbóreas que pueden ser inajá y otras palmeras con frutos nutritivos, o cualquier árbol que provea vainas y frutos en la época de las lluvias irregulares. También pueden ser implantados arbustos o árboles cuyas hojas el ganado pueda comer, como *Leucaena,* "imbauba" *(Cecropia adenopus),* "guandú" y hasta *Gmelina.*

Se ve claramente la preferencia de las forrajeras introducidas por los diferentes tipos de suelo. Así la *Pueraria* desaparece de los terrenos más secos, alojándose en los más húmedos, donde se torna plaga dominando absolutamente todo; mientras que la *Centrosema* es privativa de los terrenos más secos. Las "canaranas" aparecen en las bajadas, mientras el pasto gordura se afirma en los espigones de cascajo. Por todas partes aparece "cola de conejo" *(Andropogon leiostachyus),* que vegeta sólo en terrenos con subsuelo húmedo, de modo que en una segunda aproximación, la elección de forrajeras debe tener en cuenta esta realidad, implantándose guandú y otras leguminosas con raíces pivotantes, para romper las capas o lajas compactadas impermeables.

Resumen

Los suelos de la región amazónica deben mantenerse bajo cobertura vegetal permanente, ya sea de pasturas o de cultivos arbustivos o arbóreos. En estos últimos es también imprescindible el uso de cultivos protectores, que sustituyen al escardado en el combate a invasoras y rebrote.

En las pasturas son necesarios los corta-vientos o árboles de sombra.

En los suelos donde se plantan cultivos de sustento vale la siguiente regla:

No dejar nunca el suelo desnudo. Con rodillo con cuchillas o azada rotativa picar la materia orgánica en la superficie; soltar o aflojar el suelo con el subsolador o pie-de-pato, y con una rastra preparar el lecho para la semilla, que debe ser plantada inmediatamente. Primero se planta el cultivo protector, implantándose luego en él el cultivo principal.

El paisaje de cultivo debe conservar las características del paisaje natural, para que el clima no se modifique desfavorablemente.

El cultivo puede ser continuo si son observadas las reglas básicas de uso del suelo amazónico. En caso contrario, el mejor sistema es el de las "colonias agrícolas" de Roraima. Allí toda la tierra pertenece a la colectividad, dirigida por un administrador que cada año

"recibe" la tierra dejada para descanso y "entrega" otra área, desmontada, al agricultor. El fin del descanso es el restablecimiento de la estructura del suelo, siendo innecesario si la estructura es conservada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Bastos, T. Xavier,** - 1972 - O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. *IPEAN, Bol. Tec. 54:68-122.*
2. **Batey, Th.** - 1973 - A estrutura do solo. Aulas no *curso de Pós-Grad. em Biodinâmica do Solo, Sta.Maria/RS.*
3. **Falesi, I. C.** - 1972 - Solos da rodovia Transamazônica. *IPEAN, Bol. Tec. 55.*
4. **Falesi, I. C.** - 1972 - O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira, em: Zoneamento agrícola da Amazônia. *IPEAN, Bol. Tec. 54:1-67.*
5. **Greenland, D. J.** e **P. H. Nye,** - 1959 - Increase in the carbon and nitrogen contens of tropical soils under natural fallow. *J. Soil Sci. 9:284-99.*
6. **Ignatieff, V.** - 1958 - Efficient use of fertilizers. *FAO, Roma, pp 355-65.*
7. **Lima, R.** - 1976 - Comunicação pessoal, na *Fac. Ciênc. Agríc. Belém.*
8. **Lisboa, R.; C. Lobato** - 1976 - Estudos sobre a vegetação das "campinas" amazônicas. *Acta Amazôn. VI/2:171-92.*
9. **Lisboa, P. L.** - 1976 - Estudos sobre a vegetação das "campinas" amazônicas. *Acta Amazón. VI/2:193-211.*
10. **Mainestone, B. J.** - 1963 - Manuring of Hevea. *Emp. J. exp. Agr. 31/122:175-85.*
11. **Müller, L.** - 1973 - A mata como termostato da paisagem em: Aulas de Fisiol. Vegetal no *curso de Pós-Grad. em Biodinâmica do Solo. Sta.Maria/RS.*
12. **Newsman, A.** - 1964 - Root disease of the Hevea. *R.R.I. Plant Bull. 75:207-9.*
13. **Nye, P. H.** e **D. J. Greenland,** - 1960 - The soils under shifting cultivation. *Comm. Bur. Soils Tech. Comm. Nº 51.*
14. **Passarinho, J. G.** - 1976 - Futuro da Amazônia Legal. *Confer. no Congr. bras.de Anastesiologia, Belém.*
15. **Richardson, E.F.** - 1965 - Cover crop recomendation. *Kenya Sisal Board Bull. 53:13-17.*
16. **Schmidt, J. C. T.** - 1947 - O clima da Amazônia. *Rev. bras. Geogr. 4(3): separata.*
17. **Thomas, A. S.** - 1940 - Shade trees in Uganda and their relation to the cultivation of coffee and tea. *E. Afr. Agri. J. 5:281-93.*
18. **Vieira, L. S.** - 1976 - Manual da Ciência do Solo. *Ceres, S. Paulo.*
19. **Wrigley, G.** - 1969 - Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*

PALABRAS FINALES

En el mundo entero la agricultura todavía está relegada al último lugar, porque produce poca renta y contribuye de manera insignificante al PBI. En términos económicos abstractos, tal vez sea correcto. En términos generales, nunca lo será. La producción de productos superfluos de ninguna manera podrá substituir a la de alimentos.

El descuido de los suelos y la destrucción de su bioestructura, y con eso, de su productividad, no tiene reflejos graves únicamente en la economía rural, tiene reflejos calamitosos en la salud general, porque productos biológicamente incompletos nutren menos y no contribuyen a la salud de los que los consumen. La población pierde su vitalidad, su inteligencia, su dinamismo y su fuerza.

¡En suelos destruidos hay pueblos indolentes! ¡El pueblo que descuida su tierra se destruye a sí mismo!

El futuro de Brasil está ligado a su tierra. El manejo adecuado de sus suelos es la llave mágica para la prosperidad y el bienestar general.

La naturaleza, en sus caprichos y misterios, condensa en pequeñas cosas el poder de dirigir las grandes, en las sutiles la potencia de dominar a las más ordinarias, en las cosas simples la capacidad de regir las complejas. Así, la explosión de una cosa ínfima, como un átomo, llega a arrasar ciudades enormes y a esterilizar regiones enteras. Y un miligramo de hormona en más o en menos, llega a modificar las funciones de todo el cuerpo, enfermando el organismo. Y la simple destrucción de los grumos del suelo llega a destruir pueblos y países, trayendo hambre, miseria y enfermedad, y como consecuencia, esclavitud...

¡Qué exactas son las palabras de Abraham Lincoln!: "Destruyan las ciudades y conserven los campos, y las ciudades resurgirán. ¡Destruyan los campos y conserven las ciudades y éstas sucumbirán!"

GLOSARIO

Abiótico hostil a la vida.

Abono de corral son los excrementos animales mezclados con cuatro partes de paja y fermentados en proceso anaeróbico durante 3 meses.

Absorción penetración del agua como en una esponja; embeber.

Absorción fisiológica ocurre a través de la presión negativa u osmótica, es decir, la concentración mayor en la célula que en la solución del suelo.

Adensamiento compactación por obstrucción de los poros del suelo.

Adsorción adhesión a la superficie de la arcilla, sin penetrar.

Agricultura itinerante *(shifting cultivation)* nómade.

Agua disponible agua que la raíz consigue retirar del suelo y que se localiza en los poros de tamaño medio.

Amazonia Legal toda la región de la cuenca amazónica, incluyendo los "cerrados" del N. del Mato Grosso, Minas y Goiás.

Aminoácidos productos nitrogenados del metabolismo vegetal, de los cuales se forman las proteínas.

Anaerobio todas las condiciones en que falta oxígeno. En el suelo ocurre por la saturación de los macroporos con agua, arcilla o limo, o la saturación del aire con CO_2 por la respiración de la microvida.

Background o historia de una variedad, indica las condiciones ambientales para las cuales fue creada, especialmente su necesidad de diversos nutrientes, tanto como su capacidad de utilizarlos.

Bacteriostato sustancia que impide la actividad o desenvolvimiento de bacterias.

Basipétalo transporte (de iones y sustancias) de la hoja a la raíz.

Bioestructura sistema de grumos y poros producidos por la microvida en presencia de materia orgánica, estables al agua.

Cajas de abono hoyos de 30 a 50 cm de profundidad, que se rellenan con calcáreo o abono.

Calidad (ver *Valor biológico*).

Capacidad de campo la cantidad de agua retenida en un suelo no alterado, con drenaje libre.

Carbohidratos sustancias que poseen la fórmula genérica $(C\text{-}H_2\text{-}O)_n$ incluyéndose azúcares, ácidos grasos, almidones, celulosa, etc.

Cerrado tipo de vegetación baja, retorcida, de corteza gruesa, característica de ciertas zonas tropicales.

Cationes iones positivos como Ca^{++}, K^{+}, Mg^{++}, Na^{+}, etc.

Cespitoso que crece en montones, grupos o matas, como el pasto "cola de burro".

Cobertura muerta camada de residuos orgánicos como paja, de 5 cm de espesor, cubriendo la superficie del suelo.

Compactación compresión por máquina o pisoteo de ganado (ver *Adensamiento).*

Condicionadores del suelo sustancias químicas, como el "krilium", que se agregan y aflojan el suelo en forma de copos (agregados).

Creek valle.

CTC capacidad de cambio o intercambio de cationes. Por lo general, la CTC máxima del suelo está determinada a un pH 7,0. Existe asimismo la CTC mínima determinada a un pH 4,5, y la real determinada al pH del suelo.

Cultivo protector (o *cover-crop*) generalmente es una leguminosa plantada para cubrir el espacio entre las líneas del cultivo principal.

Densidad aparente el peso de 1 cm^3 de tierra, excluyéndose los poros.

Desenvolver o **desarrollar** mejorar lo existente.

Dieback muerte de las puntas de las ramas, que avanza hasta matar las ramas enteras.

Difusión migración de iones disueltos en agua, por el suelo o por membranas semipermeables.

Ecológico todo lo que está en conformidad con los diversos factores de un medio ambiente, refiriéndose aquí, generalmente, a un suelo bajo un clima en particular. El suelo constituye el medio ambiente para las plantas y la vida de ellas.

Ecotipo una planta, microbio o animal que encuentra todas sus exigencias satisfechas en un determinado lugar del suelo y que, por lo tanto, le es propio.

Efecto de concentración la concurrencia de niveles elevados de determinados nutrientes en el tejido y savia de una planta, cuando ésta sufre la falta de algún nutriente que impide su crecimiento normal, o cuando es atacada por pestes y plagas, o cuando posee un metabolismo lento, por existir factores adversos como exceso de calor, viento, etc.

Efecto de dilución la concurrencia de bajos niveles de nutrientes en el tejido y savia de una planta, debido a un crecimiento rápido del vegetal.

Energía es la luz solar directa o captada, utilizada por la planta en la fotosíntesis para la formación de carbohidratos que, una vez descompuestos durante la respiración, liberan esta energía nuevamente para los procesos metabólicos.

Enraizar traspasar el suelo por una trama densa de raíces.

Enzimas son proteínas asociadas a una co-enzima, generalmente una vitamina, y "activadas" por un mineral, muchas veces un micronutriente. Catalizan procesos bioquímicos en la planta.

Equilibrios nutricionales proporciones de nutrientes requeridos por cada cultivo, como por ejemplo: K/Ca + Mg, N/Cu, Ca/Fe, etc.

Estables al agua, agregados son los grumos del suelo que no se deshacen con la lluvia.

Estolonífero reptante que posee estolones.

Estomas pequeñas aberturas en la superficie o limbo de las hojas, que se pueden abrir o cerrar para dejar entrar CO_2 y salir agua en forma de vapor.

Fenoles son sustancias simples o heterocíclicas donde uno o más hidrógenos del ciclo bencénico fueron sustituidos por hidroxilos o carboxilos durante la descomposición de materia orgánica por hongos (moho). Son la base de las moléculas del humus, al cual confieren la coloración, según la cantidad de azufre o nitrógeno unidos en estos compuestos. Sus formas más simples pueden ser absorbidas por las plantas.

Fertilidad la riqueza del suelo en nutrientes, aunque no indica que éstos puedan ser absorbidos por las plantas.

Filoplano que está en el borde de la hoja.

Floculado agregado, precipitado. También, estado grumoso de un suelo, que no se asienta bajo la acción de las lluvias ni forma costras superficiales.

Fotosíntesis formación de sustancias orgánicas por la planta a partir de CO_2 y agua, en presencia de luz solar (energía), con ayuda de clorofila.

Frontera región de Rio Grande do Sul (Brasil) que limita con Uruguay.

Glucosa uno de los azúcares de fórmula simple.

Granular en agregados.

Grumoso suelo formado por agregados traspasados por microporos, entrelazados por líneas de hongos (unidos o encadenados) por sustancias gelatinosas de bacterias y algas. Estos agregados son estables al agua.

Heterótrofo que vive de materia orgánica.

Hidratación cualquier cuerpo líquido o sólido cuya molécula está siendo ligada a una o varias moléculas de agua, o cuando adsorbe o absorbe agua.

Hileia floresta o selva amazónica.

Humus producto más o menos estable de la descomposición de la materia orgánica, especialmente de la fracción leñosa, enriquecida con nitrógeno, fósforo y calcio, sólo soluble en álcalis, formándose en suelos con pH por encima de 5,6.

Humus mull humus más valioso formado casi exclusivamente por ácidos húmicos.

Indolente apático, sin iniciativa.

Infiltrarse en el suelo entrar en el suelo a través de los poros.

Insolación incidencia directa de la luz solar.

Intercambiable es un ión que, asegurado por electrovalencias en la superficie de la arcilla, puede ser sustituido por otro.

Interespecie entre las especies.

Ion átomo o grupo de átomos que ganan o pierden electrones, como Ca^{++}, Fe^{+++}, Mn^{++++}, K^{+}, o $PO^{=4}$ Cl^{-}, etc.

Know how saber cómo.

Know why saber por qué.

Lámina delgada porción del suelo endurecida con resinas y desgastada hasta un espesor de 20 a 30 micrones (0,020 mm).

Lignina polisacárido asociado a la celulosa de sustentación de los vegetales. Posee gran resistencia a la tracción. Las fibras son de lignina.

Macrofauna animales del suelo de porte pequeño, no obstante, fácilmente visibles a simple vista, como lombrices, larvas, ciempiés, etc.

Mass flow movimiento de iones nutritivos en el suelo a través del movimiento del agua en que están disueltos.

Mata o selva geral selva de la Amazonia.

Materia orgánica son todas las fracciones que contienen carbono, como humus, raíces muertas, excreciones animales, excreciones radiculares, etc.

me % % equivalente a miligramos por 100 gramos de suelo seco, también e.mg%.

Mesofauna animales minúsculos del suelo, que todavía pueden ser distinguidos a simple vista, como ácaros, etc.

Metabolismo formación y descomposición de sustancias orgánicas en un ser vivo, imprescindibles para la vida vegetal y animal.

Metabolitos productos del metabolismo, que pueden ser excretados por las raíces.

Micorrizos hongos que viven en asociación simbiótica con la raíz o dentro de ella.

Microfauna animales del suelo, solamente visibles con el microscopio, como amebas, etc.

Micronichos cavidades microscópicas en el suelo, hasta macroporos que poseen su microambiente propio.

Micronutrientes elementos nutritivos necesarios a la planta en cantidades reducidas, como Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, etc.

Mol el peso molecular expresado en gramos.

Monocultivo o monocultura plantación de un mismo y solo cultivo en el mismo campo durante años.

Monosalino solución de una única sal.

Monovalente que posee sólo una electrovalencia, por ejemplo: los iones de Na^+, K^+, Cl^+, etc.

Necrosis muerte de un tejido orgánico.

Nematodes gusanos o larvas minúsculas, filiformes, que viven en el suelo y pueden ser parásitos vegetales.

Nivel freático nivel de la napa de agua subterránea.

Oligotrofismo causado por la oligotrofia, es decir, por una nutrición escasa o deficiente.

Oxi-reducción ver *Reducción*.

Pan capa o laja dura en el suelo subsuperficial.

Patógeno microorganismo causante de enfermedades.

Percolar acción del agua que recorre el perfil del suelo cuando hay drenaje libre, sin penetrar.

Pie-de-pato subsolador.

pF medida de humedad del suelo alcanzada mediante la succión total del agua por una columna de agua de altura determinada, expresada por un logaritmo negativo, por ejemplo: pF 3, la succión de una columna de agua de 1013 mm de altura. Equivale a 1 atmósfera o 1013 milibares.

pH medida de acidez del suelo. Se expresa por el logaritmo negativo de la concentración de H^+ iones disociados en el suelo. Cuanto más bajo es el pH, tanto más ácido es el suelo.

Pilosidad cobertura de pelos pequeños.

Plasma celular contenido celular de consistencia coloidal, generalmente rico en proteínas, glucosa y sales minerales.

Plasmólisis deshidratación del plasma celular hasta desprenderse de la pared celular.

Plintita concentración laterítica (específicamente hidróxido de aluminio y/o hierro).

Pluvial concerniente a la lluvia.

Poder tampón capacidad del suelo de amortiguar cambios bruscos de pH (poder "buffer").

Potencial bioeléctrico mide la intensidad de los procesos metabólicos en la raíz, pudiendo informar sobre la compatibilidad de una planta con un suelo poco aireado.

Potencial radicular es la propiedad de la raíz de apoderarse de nutrientes, inclusive contra una concentración externa elevada, como ocurre en suelos salinos o recién abonados, o de compuestos poco solubles.

Precipitaciones lluvias.

Productividad capacidad del suelo de producir cosechas. Depende de la fertilidad física, química y biológica.

Proporción cociente de dos o más nutrientes (K/Ca + Mg) donde el nutriente en mayor cantidad se divide por el de cantidad menor. Por ejemplo: K/Ca = 10 indica que existe 10 veces más K que Ca.

Quebradizo que se desterrona fácilmente, no pegajoso.

Reducción (u oxi-reducción) del suelo, es la reducción de valencias de iones parcialmente por la pérdida de oxígeno y su sustitución por hidrógeno, por ejemplo: $SO_3 \rightarrow SH_2$; $NO_3 \rightarrow NH_4$; $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$. Esto ocurre en condiciones de aireación deficiente.

Respiración vegetal es la descomposición de sustancias fotosintetizadas, como glucosa, y la liberación de energía.

Rizoplano hasta 3 a 5 mm distante de la raíz.

Rotación de cultivos plantar en un campo cultivos diferentes en determinada secuencia, para conservar la bioestructura del suelo y utilizar racionalmente los abonos y fertilizantes.

Sabana tipo de vegetación característica de Africa.

Saprófago que come materia orgánica en descomposición.

Sequía o seca fisiológica sequía inducida en la planta por la concentración de sustancias metabólicas en la raíz, y una concentración elevada de iones en la solución del suelo.

Simbionte ser vivo que vive en asociación con otro.

Simbiosis asociación de dos o más seres vivos, que se benefician mutuamente.

Suelos alcalinos con exceso de sodio.

Suelos salinos con exceso de sales de sodio, calcio, magnesio y potasio.

Solución agua con sustancias disueltas en ella.

Solución del suelo agua del suelo con minerales y ácidos orgánicos disueltos.

Soluto sustancia que fue disuelta en agua.

Suberoso (semejante al corcho); con consistencia de corteza, generalmente arrugado.

Subsolador implemento agrícola para aflojar el suelo sin invertirlo.

Tenacidad resistencia que el suelo opone a la fuerza rotativa de 4 láminas de acero, para cortar una determinada porción de suelo (por lo general de 5 cm de espesor y de 10 cm de largo).

Tensión o presión negativa es la causada en la hoja por la transpiración del agua, existiendo la tensión en todo el sistema, hasta la raíz. Su acción es semejante a la de un vacío.

Termostato mantiene la temperatura a un nivel determinado.

Teso (monte) colina; cuchilla con corte casi a pique.

Tierra virgen suelo de monte todavía intocado por la mano del hombre.

Toró así se denomina en Brasil al aguacero o lluvia violenta.

Transferencia de energía del lugar en que se formó hacia el lugar donde ocurre el proceso metabólico, con ayuda de A.T.P. (adenosina-tri-fosfato).

Transpiración pérdida de agua por las hojas, en forma de vapor.

Turgencia presión del contenido celular contra la pared, cuando está embebido en agua.

Vacuolo reservorio de agua dentro del citoplasma, envuelto por una membrana permeable.

Valor biológico calidad, valor nutricional. Por ejemplo, el trigo puede formar proteínas o puede tener sus aminoácidos libres, siendo entonces de valor inferior.

Vástago toda la parte aérea de la planta.

Veranico época seca en la estación de las lluvias, que es el verano en Brasil.

Vitrificación endurecimiento del suelo arenoso cuando es pobre en materia orgánica y fósforo. Ocurre por la solubilización y endurecimiento de silicio.

Volumen del suelo porción de tierra que una planta puede enraizar.

INDICE TEMATICO

Abandono de tierra, 212
Abatimiento, 280
Abono verde, 26, 55, 99, 115, 116, 137, 249, 325
Absorción de minerales, 214, 238, 239, 257
  selectiva, 57-59
  índice, 269
Acaros, 132
Acido poliurónico, 169
Agregación del suelo, 16, 168, 169, 183
Agricultura en los trópicos, XV, 109, 303-306
Agua en la planta
  abastecimiento, 15
  absorción, 5, 9, 10, 44, 256
  almacenamiento en la planta, 6
  consumo, 18-22
  cultivos agotantes, 383
  disponibilidad, 15-46
  pérdida, 5
Agua en el suelo
  ascensión, 81, 82, 416
  escasez, 17, 47, 213
  escurrimiento, 184, 217-219
  infiltración, 17, 21, 42, 80, 83, 84, 191, 214, 219
  retención, 449-451
Agua salina, 408-410
Aire en el suelo, 13, 54, 56
Alcalinidad, 414
Algas, 147, 164-167, 398
Aluminio en el suelo, 18, 58, 61, 64, 77, 82, 86-88, 117, 238
  proporción con otros cationes, 239-240
  de cambio, 240
Amazonia, 85, 470-488
Aminoácidos, 24, 30, 437
Análisis
  foliar, 251, 280-281, 302
  de savia, 251, 280-281
  correlación con el rendimiento, 281
Animales del suelo, 133, 135
Antibióticos en el suelo, 134, 148
Arada, 139, 327, 463
  mínima, 331, 332
  profundidad, 50, 201, 208, 326-329
  punto de trabajo, 321, 332-333
Asociación de los seres vivos, 131
Azotobacter, 155
Azufre, 294
  efecto sobre el pH, 294-296
  deficiencia, 294-297
  tenor en la planta, 296
  toxicidad, 296

Bacterias
  actividad, 94-97, 196
  celulolíticas, 106, 107, 195
  fijadoras de nitrógeno, 158
  medio adecuado, 107
Biocatalizadores, 3
Bioestructura, 26, 28, 80, 87, 96, 107, 116, 183, 184, 191, 192, 275-276, 375-378, 386
  clima y su relación, 216
  destrucción, 199
  examen, 204-206
  mantenimiento, 413-414
  protección, 220-226, 231-232, 378-380
Biología del suelo, 123
Boro, 9, 60, 414

Calcio, 242-246
  equilibrio con otros nutrientes, 245-247
  consumo y lixiviación, 248
  nivel mínimo y máximo, 246
  relación con el pH, 246, 247
Cambios bruscos de vegetación, 57
Capacidad de campo, 47, 462
Carbohidratos, 4
Cationes, 88
Caolinita, 76, 78
Ceniza, 346-347
Cerrado, 453-467
  capacidad de campo, 462
  compactación 460-462
  deficiencia de agua, 459
  distribución de lluvias, 454
  fuego, 458-459, 462
  nutrientes, 454
  prácticas de cultivo, 464
  recuperación, 463-467
  vegetación, 453-458
  viento, 458-460
Clima, 35, 81, 212, 325-326
  modificación, 84, 220, 477-480
Cloro, 11, 411, 421

Co_2 en el suelo, 137
Cobertura muerta, 114, 115, 197, 223, 383-389
  material usado, 358-360
Cobertura plástica, 359
Cobertura viva, 363-367
Compactación del suelo, 206, 396
Corta-vientos, 20, 23, 416, 467, 485
Cosecha reducida, 225
Costra superficial, 41, 42, 199, 201, 211, 406
Crecientes, 214, 216-220
Crecimiento, tasa de, 251
CTC (CIC), capacidad de intercambio de cationes, 80, 88, 224, 239, 254
Cultivo
  intercalado, 367
  protector, 223, 360-362, 370
  sanidad, 141

Decadencia del suelo, 199, 339
Deficiencia mineral, 56, 199, 231, 252
Déficit de presión, 7
Densidad aparente (o masa específica), 40, 79, 184, 186, 200
Desalcalinización, 117
Desalinización, 418
Desertificación, 83, 84, 407
Desterronamiento, 183
Difusión, 7
Drenaje, 408, 414, 418-421
Dry-farming, 23

Ecología, 131
Ecosistema, 378, 428
Ecotipo, 35, 143
Efecto de dilución, 251, 257
Encalado, 100, 198, 242
  corrección del suelo, 242, 254-256, 462, 464-465
  elevado, 243
  efecto depresivo, 242, 243
  especial para cada cultivo, 390-394
  inducción de deficiencias, 246
  lastre de fertilidad, 244-248
Energía
  cinética, 7
  fuente, 3
  libre, 7, 24
  obtención, 3
  transferencia, 30
Enraizamiento, 37, 39, 381
Enzimas, 3, 30, 172-173
  potencial enzimático del suelo, 133, 134, 146, 148, 151, 152, 381
Equilibrios
  biológicos, 131
  dinámicos, 139
  nutricionales, 245
Erosión, 41, 84, 191, 214-218, 226, 339, 378, 386
Escurrimiento de agua, 184, 214, 217-219
Espaciamiento, 23, 62, 223, 280, 363-367
Estiércol de corral, 116, 354, 363
Estructura activa, 167
Evapotraspiración, 22

Factor C-4, 15
FAO, XV
Fauna terrícola, 131, 136-142
Fenoles, 13, 25, 279
Fertilidad
  química, 324
  física, 183
Fertilización
  acidificación del suelo, 247, 249
  aprovechamiento, 212, 223
  calibración, 263, 275-277, 299-300
  efecto, 248, 275-277, 299-300
  eficiencia, 268, 269, 272-278
  fertilidad del suelo, 227, 235
  hoyos o "cochos", 391, 393
  influencia sobre la microvida, 173
  límites, 269
  pastoril, 447-449
  pruebas, 291
  rentabilidad, 272
  respuesta de los cultivos, 184, 200, 463
  valor biológico de las plantas, 394
Fertilización foliar, 304
Fertilización orgánica, 362, 363
Fertilizantes
  absorción, 274-276
  consumo, 264-266
  lixiviación, 250, 268
  localización en el suelo, 12, 61, 62
Forrajeras
  elección, 447-449
  fertilización, 447
  señal de "hambre", 450
  valor nutritivo, 437
Fósforo, 30, 61-62, 283-288
  disponibilidad, 237, 284-286, 288
  efecto sobre los micronutrientes, 287
  fijación, 237, 284
  lixiviación, 287
  movilización, 64, 167, 168, 286, 288
Fotorrespiración, 23
Fotosíntesis, 9, 12-17, 24, 146
Fuego, 89, 347-350, 440-442, 462, 463, 477-480
  controlado 441-463

Ganado, 435
Germinación, 9-12, 381
Glucosa, 4
Grumos o agregados, 200
  conservación, 197, 327
  destrucción, 49, 50, 199, 201
  estables al agua, 52, 80, 188, 192-196

formación 188, 196

Halófitas, 47
Heladas, 280-292
Herbicidas, 27, 350-352
Hierro, 79, 82
Hoja, sustancias lavadas, 275-276, 294-296
Hombre-planta-suelo, 231, 232
Hongos, 24, 134, 153
Hormigas, 132, 156
Humedad del suelo, 208, 256-261, 356-358
  durante el trabajo, 208
Humificación, 141
Humus, 25
  ácido húmico, 104, 106, 153
  acumulación, 95, 103
  degradación del suelo, 100, 104
  efecto del abono verde, 116
  efecto del calcio, 100, 107
  formación, 95, 108
  formas, 95, 97, 100
  humus ácido, 101, 106
  lixiviación del suelo, 100
  mínimo necesario, 102
  cantidad, 113
  valor, 97

Indice de tenacidad, 51
Infiltración de agua, 17, 44, 184, 191, 192, 216, 408, 413
Insolación, 40, 43
Invasoras (también "incos", "juquiras"), 378, 382, 428, 430, 438, 442
  control, 349-352
  elegidas, 366
Iones nutritivos
  enriquecimiento del suelo, 85
  equilibrio, 17, 30, 82, 256
  cantidad, 76
  hidratación, 17
Irrigación, XV, 27, 224, 288-289
  abastecimiento, 403-405
  correcta, 410-411
  pérdida de nutrientes, 391-392
  suplementaria, 403-405

Laja o capa compactada, 48, 199-201
Ley del mínimo, 30, 63, 252
Limpieza del terreno, 344, 345
Lombrices, 132, 137
Lluvias
  infiltración, 184, 185, 191, 216, 274
  oscilación, 460, 481
  pesadas, 84, 467, 477
  prolongadas, 275

Manejo del suelo, 233, 323
Manganeso, 247, 248
Máquinas agrícolas, 50, 206, 212, 329-337, 396-398
Marchitamiento, 13
Materia orgánica, 94, 147
  acumulación, 109
  agregación del suelo, 94, 106
  beneficios, 109
  calcio y su efecto, 103, 104
  descomposición, 24, 80, 94, 446
  humus, 86
  incorporación al suelo, 24, 196
  influencia sobre la vida, 173
  nitrógeno, 94, 95
  producción de anhidrido carbónico, 419
  cantidad y calidad, 113, 363
  retorno al suelo, 107, 109, 360-363
  sanidad vegetal, 111, 113
Material de origen, 76
Medio ambiente, 135, 139, 143, 152, 220
Metabolismo, 22, 24
Metabolitos, 7
Metabolización, 20, 29, 30, 214, 281
Micorrizas, 108, 154, 155, 156
Microorganismos, 124, 146, 147
  actividad, 152, 169
  celulolíticos, 168
  control, 125, 128, 157, 160, 169, 175
  fuente de energía, 147
  manejo, 152
  procesos de descomposición, 148
  relación con las plantas, 154
  relaciones recíprocas, 150
Micronichos, 154
Micronutrientes, 302
  deficiencia, 3, 20, 30, 263, 296-303
  efecto, 297-302
  formas, 299-300
  proporciones, 299-302
Microvida, 124
  cadena alimenticia, 128
  índice de multiplicación, 125
Minerales nutritivos, 231-235, 237-238
Monocultivo, 139, 141, 366-367, 373, 380, 381, 480-481, 486-487
Montmorilonita, 76-78
Movilización del suelo, 97, 113, 200, 323-324, 326

Nematodes, 24, 136, 138, 142, 421
Nitrógeno, 62, 254, 256
  amoniacal, 278, 279, 280
  equilibrios, 251-253
  fertilización, 281-283
  fijación, 150, 155, 158
  algas, 164-166
  rizobios, 159-162
  hoja, 160
  fuentes de nitrógeno, 277-279

manejo de la fijación, 166, 167
manejo del N, 280-281
microorganismos de vida libre, 180-183
nítrico, 278-279
N en arroz irrigado, 398
N en pasturas, 450
N en el vegetal, 259
N y pestes, 373-375
respuesta de los cultivos, 281-284
Nivel freático, 47, 220, 410, 416, 466-468
Nutrición radicular, 9, 251-254
Nutrición vegetal, 8, 61, 81, 231
Nutrientes
absorción, 250, 274-276
ascensión en el suelo, 276
deficiencia inducida, 17
desasimilación, 257
disponibilidad, 13, 18, 132, 274-276
equilibrios, 18, 251-254
esenciales, 234
lixiviación, 274
movilización, 155-157
proporciones, 252-256, 403

Osmosis (ver presión osmótica), 7, 411, 412
Oxígeno en el suelo, 24, 26, 51
Oxi-reducción, 29, 399-401

Paja
incorporación, 362
fitotoxicidad, 114
Parásitas, 24, 134
Pastaje, 108, 380, 444-446
Pastos
de porte alto, 380
de porte bajo, 378-380
excreciones radiculares, 197
rebrote, 468-507
Pasturas
conservación, 225, 251
compactación del suelo, 440
decadencia, 433, 445
fertilización, 226, 446, 449
en el "cerrado", 467-469
interacción ganado-planta, 428-429
invasoras, 438-442
limpieza, 438-440, 444, 458, 459
para cría, 437
plantación, 434-435
policultivo forrajero, 435-437
reposo, 431-445, 446, 468
suelo pastoril, 429, 430, 442-444
Peletización de la semilla, 12, 174, 484
Peso hectolítrico, 10
Pestes, 154, 176, 292, 295, 384, 385, 401, 480-481
Pf, 16
pH, 29, 43, 58, 117, 155, 172, 234, 235, 276, 399-402
corrección, 237, 242-244, 465-467
preferido por las plantas, 235, 239
"Pie de pato" o subsolador, 333-334
Plagas
causa de aparición, 123, 134, 139, 184, 256
control, 139, 141
criadas por el cultivo, 384
Planta-suelo, 206-235
absorción de nutrientes, 302-303
cultivo, 329-331
edad fisiológica, 251, 257, 258
indicadora, 34
recuperadora, 413
Plantación directa, 142, 202, 335-339
Plantíos consorciados, 63
Porosidad, 28, 44, 79, 183-188
pérdida, 199, 202, 335
Potasio, 18, 288
absorción, 288, 289
disponibilidad, 289
efecto, 290-294
Presión osmótica o tensión negativa, 6-7, 18, 47, 80, 414, 420
Productividad agrícola, 321, 322, 324, 349
Producción vegetal, 12, 34, 63, 302, 303

Quemas, 346-350, 440-441, 458
Quinonas, 13

Raíz, 34
absorción, 20, 36, 57, 156
crecimiento, 12, 60, 62, 89
débil, 57
enraizamiento, 37, 44, 50
espacio explorado, 20, 39-42, 79, 80
excreciones, 28, 56, 64, 380-381
forma, 36, 214
función, 36
horquillamiento, 50
limitaciones 40, 47, 63
potencial, 9, 29, 42, 63
sanidad, 24, 56
volumen, 8
Rajaduras en el suelo, 188, 189, 216, 408
Rastrojos, 106
Rebrote de pastos, 445-447
Rectificación de ríos, 220
Rendimiento, 254
Respiración, 4, 12, 13, 22, 24
Rizobios, 150, 159, 160
Rizosfera, 36, 154, 157-158
Rodillo con cuchillas, 349, 446, 468
Rotación de cultivos, 42, 50-51, 138, 141, 174, 375-386
principios, 378

Sabor, 395
Salinización del suelo, 83, 405

causas, 406-408, 409, 412
prevención, 410-413
Salino, 414
Salud vegetal, 111-115, 279-280, 373
Selenio, 294-296
Selva amazónica (mata floresta), 470-488
clima, 476
decadencia de los suelos, 477
diversificación vegetal, 470-474
ecosistema, 475, 478
fertilidad del suelo, 474-475
plagas, 480
producción, 480, 481, 482-484
topografía, 474
Sementera, 442, 443, 446, 467
Semilla
absorción, 272
enriquecimiento, 12, 263
germinación, 154, 292, 395
nutrición niveles críticos, 263-264
riqueza mineral, 262
Sequía, 84, 216, 386, 405-407
fisiológica, 8, 17, 18
Silicio, 76, 85, 89
Simbiosis, 134, 154, 155, 159, 165
Sobrepastoreo, 224
Solución monosalina, 17
nutritiva, 80
Sombreamiento del suelo, 13, 23, 262, 367-371
de cultivo, 257-261, 370
retirada, 261, 371
Subsolación, 202, 332
punto para el trabajo, 332-334
Succión, 6
Suelo, 73
agregación, 168-170
anaerobio, 24, 27
aprovechamiento por el vegetal, 39, 86
compactación, 26, 49, 54
concrecionario, 82, 89
decadencia, 339, 370
dinamismo, 232-234
encharcado, 296-297
estructura activa, 21, 199-200
grumoso, 187
irrigado, 403-421
modificación, 76
movilización, 98
permeabilidad, 185, 210
productividad, 55, 109, 170
protección, 202, 204, 351, 355, 364, 366
sumergido, 397-405
vida, 129
humedad, 136
Suelo compacto, 23, 184, 200, 203, 237, 326, 339, 340
efecto sobre la producción, 52, 198
formación, 327-329
Sustancias hidrófobas, 346-347

Técnicas agrícolas, 13, 24, 35, 52, 73, 200, 202, 224
Temperatura y producción vegetal, 12, 13
del suelo, 23, 353, 359
Termitas, 131, 132, 136, 137, 141, 184
Terrazas, 212-219, 397
Textura del suelo, 15
Tierra "firme", 474
Transpiración, 12, 223

Urea, 280

Vaciamiento del río, 220
Valor biológico, 139, 154, 232, 263-264, 300-303, 363, 390-391, 394, 396
económico, 384-385
nutritivo, 394
Variedad
histórico, 269
productividad, 268, 276-277
respuesta al fertilizante, 269, 271, 398
Veranico, 24, 35, 38, 477
Vida del suelo, 129, 373-375
manejo, 371-373
Vitrificación de la arena, 89, 484
Viento, 418, 459-460

Xerófitas, 44
Xeromorfismo, 220, 453

Este libro se terminó de imprimir en:
COLOR-EFE, Paso 192 - Avellaneda
el 21 de septiembre de 1984

MANEJO ECOLOGICO DEL SUELO

ANA PRIMAVESI

Vista desde un satélite, la Tierra se presenta en las nocnes sin luna brillantemente iluminada por las "luces del subdesarrollo": la zona tropical y subtropical de América latina y del mundo entero está mostrando a través del reflejo de los incendios de los bosques y pastizales, que nos encontramos frente a un problema realmente planetario.

El manejo ecológico de los suelos, como lo demuestra la ingeniera agrónoma Ana Primavesi, autora de este importante trabajo, puede contribuir en forma decisiva a evitar los incendios, la erosión, las inundaciones y en general todos los problemas que han transformado a las áreas tropicales en focos de hambre y subdesarrollo integral.

Las numerosas ediciones que tuvo *Manejo ecológico del suelo* en su idioma original, el portugués, indican que estamos frente a un libro de excepción. La presente edición en castellano confirmará, sin ninguna duda, este juicio.

DE NUESTRO FONDO EDITORIAL

LA INSENSATEZ DEL AGRICULTOR – E. H. Faulkner
PATOLOGIA VEGETAL – C. Jauch
HACIA UNA NUEVA AGRICULTURA – J. S. Molina

884